FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Herausgegeben

im Auftrage des Ministerpräsidenten Dr. Franz Meyers

von Staatssekretär Professor Dr. h. c. Dr. E. h. Leo Brandt

Nr. 1706

Dr.-Ing. Hermann Wenzel

Dr.-Ing. Helmut Schaefer

Forschungsstelle für Energiewirtschaft an der Techn. Hochschule Karlsruhe

Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. H. F. Mueller

Bestimmung des Energiekostenanteils am Listenpreis ausgewählter Walzstahlfertigerzeugnisse als Maß für den Einfluß der Energiepreise auf die Wettbewerbsfähigkeit der Eisenschaffenden Industrie



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Nr. 1706

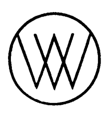
Herausgegeben
im Auftrage des Ministerpräsidenten Dr. Franz Meyers
von Staatssekretär Professor Dr. h. c. Dr. E. h. Leo Brandt

DK 621.314.21 621.316.1
621.319.4 657.472.21

Dr.-Ing. Hermann Wenzel
Dr.-Ing. Helmut Schaefer

Forschungsstelle für Energiewirtschaft an der Techn. Hochschule Karlsruhe
Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. H. F. Mueller

Bestimmung des Energiekostenanteils am Listenpreis ausgewählter Walzstahlfertigerzeugnisse als Maß für den Einfluß der Energiepreise auf die Wettbewerbsfähigkeit der Eisenschaffenden Industrie



SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH

ISBN 978-3-663-06225-7 ISBN 978-3-663-07138-9 (eBook)
DOI 10.1007/ 978-3-663-07138-9

Verlags-Nr. 2011706

Ursprünglich erschienen bei Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1966

Inhalt

0. Einführung

Seit Jahren ist die Diskussion darüber entbrannt, inwieweit ein möglichst niedriges Energiepreisniveau eine unabdingbare Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit der westdeutschen Industrie ist. Die Klärung dieses Fragenkomplexes ist ebenso wichtig für die Industrie selbst [1] wie für die Entscheidungen in der Energiepolitik über den freien oder eingeschränkten Wettbewerb heimischer mit billigeren ausländischen Energieträgern [2]. Obwohl es nicht an entsprechenden Untersuchungen gefehlt hat, gibt es bisher noch kein geeignetes Maß zur Beurteilung des Preisgefügeeinflusses von Rohstoffen und Energien auf die Wettbewerbssituation. Der vorliegende Bericht befaßt sich deshalb zunächst in den ersten Abschnitten mit der Ableitung geeigneter Beurteilungskriterien, deren Bildung und Aussagekraft dann für den Bereich der Eisen schaffenden Industrie erläutert und gedeutet wird.

1. Kennzeichnung des Einflusses der Energiepreise auf die Wettbewerbsfähigkeit durch den Energiekostenanteil am Preis von Fertigerzeugnissen

1.1 Der Energiekostenanteil am Preis von branchentypischen Fertigerzeugnissen als ein Maß für die Beurteilung der Wettbewerbsfähigkeit einer Industriegruppe

Die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie, ihrer einzelnen Zweige, Gruppen und Betriebe wird auf den In- und Auslandsmärkten durch die Fertigungskosten und die Verkaufserlöse bestimmt. Eine Unternehmung ist dann als wettbewerbsfähig anzusehen, wenn sie einen ausreichenden Gewinn erwirtschaften kann, der ihr die rechtzeitige Anpassung an die zukünftige technische und wirtschaftliche Entwicklung ermöglicht. Die Verkaufserlöse der Unternehmung werden durch ihr Fertigungsprogramm, ihre Absatzpolitik, ihre Preispolitik, die allgemeine Wirtschafts- und Nachfrageentwicklung im In- und Ausland sowie durch die Außenhandelspolitik der in gegenseitiger Handelsbeziehung stehenden Länder bestimmt. Für die Fertigungskosten sind dagegen Standort, Fertigungsverfahren, Lohnpolitik der Tarifpartner und die Beschaffungspolitik der Unternehmen maßgebend; auf längere Sicht werden sie durch die allgemeine staatliche Wirtschaftspolitik beeinflußt [3].
Aussagen über die Wettbewerbsfähigkeit lassen sich niemals für einen ganzen Industriezweig und nur in seltenen Fällen für eine Unternehmung treffen; denn der Wettbewerb vollzieht sich in stets wechselnder Konstellation auf so vielen Teilmärkten, als die Unternehmung Produktarten und Qualitäten erzeugt. Die Wettbewerbsfähigkeit läßt sich deshalb nur für bestimmte, in Art und Qualität klar umrissene Erzeugnisse prüfen. An Hand eingehender Kenntnisse der Wettbewerbslage auf den Märkten der wichtigsten betriebstypischen Fertigerzeugnisse kann man dann die Wettbewerbsfähigkeit einer ganzen Unternehmung beurteilen.

Die Fertigungskosten[1] wirken sich auf die Wettbewerbsfähigkeit einmal dadurch aus, daß sie als erfolgswirksame Aufwandssumme den Gewinn und zusammen mit der Ertragssumme die Investitionsmöglichkeiten der Unternehmungen und damit deren Anpassungsfähigkeit an die zukünftige technische und wirtschaftliche Entwicklung und ihre Marktstellung auf lange Sicht beeinflussen, zum andern können sie als auf die Fertigungseinheit bezogene Stückkosten den Preis der Produkte und damit die kurzfristige Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmungen auf den Märkten der einzelnen Produktarten und -qualitäten beeinflussen. Die Energiekosten können dabei durch ihren Einfluß auf die Höhe der Fertigungskosten die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie auf den Inlands- und Auslandsmärkten mit-

[1] Summe aus den Kosten der in die Unternehmung eingesetzten Rohstoffe und den in allen Fertigungsstufen der Unternehmung entstehenden Verarbeitungskosten.

bestimmen. Diese Mitbestimmung ist um so stärker, je energieintensiver der Herstellungsprozeß der betreffenden Erzeugnisse ist. Als Kennzahlen für die kurzfristige Beeinflußbarkeit der Wettbewerbssituation einzelner Erzeugnisse durch die Höhe der Energiepreise sind deshalb Werte geeignet, die den Anteil der Energiekosten an den gesamten Stückkosten erkennen lassen. Damit hat man zwar für den einzelnen Betrieb bereits eine geeignete Beurteilungsgröße gefunden; für eine volkswirtschaftliche Betrachtungsweise lassen sich jedoch keine verallgemeinernden Schlußfolgerungen ziehen, weil die Stückkosten innerhalb des gleichen Industriezweiges von Werk zu Werk recht unterschiedlich sein können. Während sich die spezifischen Energiekosten mit den Erfahrungen der Forschungsstelle für Energiewirtschaft branchentypisch darstellen lassen, ist eine Erfassung der spezifischen Gesamtkosten hier nicht möglich. Deshalb wird als Bezugsgröße ersatzweise statt der Stückkosten der Verkaufspreis der Fertigerzeugnisse heranzuziehen sein. Das vorgeschlagene Verfahren läuft damit auf eine Ermittlung der Energiekosten für einzelne ausgewählte industrielle Erzeugnisse und eine Untersuchung darüber hinaus, inwieweit diese Energiekosten am Endverkaufspreis der Fertigerzeugnisse beteiligt sind. Aussagekräftiger werden die Kennwerte noch durch eine Aufgliederung des wertmäßigen so gebildeten Energieanteils in seine Bestandteile Energiemenge und Energieträgerpreis; da erst dann exakte Schlüsse auf die Wirkung von Energieträgerpreisänderungen gezogen werden können.

1.2 Abgrenzung des Begriffes »Energiekosten«

Der Begriff der »Energiekosten« wird in uneinheitlicher, oft sogar in falscher Weise gebraucht [4]. Man hat zunächst der Erfassung nach zwischen sogenannten volks- oder gesamtwirtschaftlichen und einzelwirtschaftlichen oder betrieblichen Energiekosten zu unterscheiden. Die »gesamtwirtschaftlichen« Energiekostenberechnungen, wie sie beispielsweise in der Studie von KOCH und KRENKEL [5] oder in dem Aufsatz von BISCHOFF [6] zugrunde liegen, fußen immer auf Erhebungen der amtlichen Statistik oder der Verbandsstatistik, entweder über den Energieträgerverbrauch im nichtenergiewirtschaftlichen Unternehmensbereich oder über Marktvorgänge zwischen dem energiewirtschaftlichen und dem nichtenergiewirtschaftlichen Unternehmensbereich. Dieser aus den verfügbaren Statistiken abgeleitete »gesamtwirtschaftliche« Energiekostenbegriff umfaßt vor allem die zwischen den Unternehmen fließenden Geld- und Leistungsströme und hat nur seinem Namen nach etwas mit Kosten[2], d. h. mit leistungsbedingtem Güterverbrauch zu tun. Deshalb sollte sie sogenannte gesamtwirtschaftliche Energiekostenberechnung deutlich als das gekennzeichnet werden, was sie ist: Ausgaben- oder Aufwandsberechnung des nichtenergiewirtschaftlichen Unter-

[2] Kosten = produktionsnotwendiger, auf die Leistung bezogener Werteverzehr (bewerteter Güterverbrauch).
Aufwand = gesamter tatsächlicher Werteverzehr in einer Periode.
Ausgaben = Entgelt für Aufwands- und Kostengüter: die Ausgaben unterscheiden sich vom Aufwand vor allem zeitlich (Lagerhaltung).

nehmensbereiches für den Bezug von Energieträgern [4]. Auch wenn man von dem nicht einwandfreien Gebrauch des Begriffs Kosten absieht, unterscheiden sich die »gesamtwirtschaftlichen Energiekosten«, d. h. die Ausgaben bzw. – bei Berücksichtigung der Lagerbestandsänderungen – der Aufwand der nichtenergiewirtschaftlichen Unternehmen für Energieträger nicht nur deshalb von den einzelbetrieblichen Energiekosten, weil sie für Wirtschaftsbereiche, Wirtschaftszweige und Branchen berechnet werden und somit Durchschnittswerte sind, von denen die Kosten der einzelnen Unternehmen mehr oder weniger weit abweichen. Der Unterschied ergibt sich noch mehr aus der Verschiedenheit des betrieblichen vom gesamtwirtschaftlichen Energiekostenbegriff. Während die »gesamtwirtschaftlichen Energiekosten« nur den bewerteten Energieträgerfremdbezug ausweisen, beruht der betriebliche Energiekostenbegriff ganz auf dem Verbrauchsdenken; außer dem Verbrauch fremdbezogener wird auch der Verbrauch eigenerzeugter Energieträger erfaßt und mit betrieblichen Verrechnungspreisen bewertet. Man kommt deshalb zu um so erheblicheren Abweichungen zwischen den beiden Berechnungsverfahren, je höher der Anteil des im Unternehmensbereich selbst veredelten Sekundärenergieverbrauches am gesamten Energieverbrauch ist.

Gleichgültig, ob man gesamtwirtschaftliche oder betriebliche Energiekostenberechnungen durchführt, erhält man als Ergebnis den in einem bestimmten Zeitraum aufgelaufenen Betrag, z. B. in DM/a, der für sich allein noch keine Schlußfolgerungen über den Einfluß der Energiekosten auf die Wettbewerbsfähigkeit eines Industriezweiges oder eines Industriebetriebes zuläßt. Hierzu ist das Verhältnis der Energiekosten zu einer bestimmten Bezugsgröße zu bilden. Vor allem im Bereich der Investitions- und Verbrauchsgüterindustrien mit ihren zahllosen völlig verschiedenartigen Erzeugnissen ist es außerordentlich schwierig, eine sinnvolle Bezugsgröße zu finden. K. Koch und R. Krengel [5] haben in ihrer Erhebung verschiedene Vorschläge gebracht, wie Energiekosten in DM je Beschäftigten, oder nominale Energiekosten in DM je geleistete Arbeiterstunden oder wesentlich besser nominale Energiekosten in % des Umsatzes oder reale Energiekosten in % des Netto-Produktionswertes. Hierbei entstehen noch einmal die gleichen Schwierigkeiten wie bei der Erfassung der gesamtwirtschaftlichen Energiekosten; denn sowohl Umsatz als auch Nettoproduktionswert für bestimmte Gruppen der verarbeitenden Industrie werden in der Statistik nach Hauptbeteiligung der Betriebe ausgewiesen. Mit »hauptbeteiligt« in einer bestimmten Industriegruppe wird ein Betrieb dann gekennzeichnet, wenn er mehrere Produkte fertigt, wobei jedoch der überwiegende Anteil zu Produkten der bezeichneten Industriegruppe zuzurechnen ist. Jedoch auch dann, wenn man diese Größen nur für einen bestimmten Industriebetrieb bildet, erhält man meist nur grobe Schätzwerte. Bei dem stark heterogenen Fertigungsprogramm, wie es etwa in den Betrieben des Maschinenbaues vorliegt, ist die Aussagekraft einer Globalzahl, und sei sie auch nur für den betreffenden Betrieb gebildet, sehr fragwürdig. Auch die in der eisenschaffenden Industrie verwendete Bezugszahl »Tonne Rohstahl«, deren Herkunft mehr aus historischen Gründen zu erklären ist, gibt nur einen Durchschnittswert, der allenfalls als ganz grobe Richtzahl seine Berechtigung hat. Wie wesentlich die auf die t Rohstahl bezogenen Energieverbrauchszahlen und damit die bezogenen

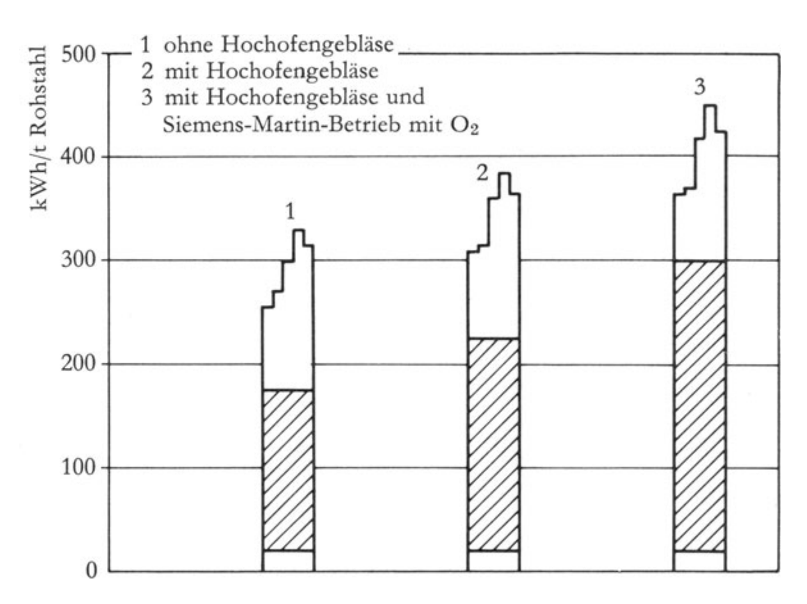


Abb. 1 Strombedarf gemischter Hüttenwerke für verschiedene Walzprogramme bei einem festen Rohstahlprogramm (Auszug aus [7])

Energiekosten durch die Struktur des betrachteten gemischten Hüttenwerkes, das heißt durch das Stahlwerks- und Walzwerksprogramm beeinflußt werden, hat F. Wesemann [7] in seinem Vortrag auf dem Eisen-Hüttentag 1962 ausgeführt (vgl. Abb. 1).

Da sich der Wettbewerb zwischen den einzelnen Fertigerzeugnissen abspielt, ist es viel sinnvoller Energiekosten für einzelne ausgewählte industrielle Güter zu ermitteln. Hierfür eignet sich am besten ein Verfahren, das von der Kumulierung der Energiekosten, die in den einzelnen Fertigungsstufen anfallen, ausgeht. Es müssen dazu bei der Energiekostenermittlung industrieller Erzeugnisse neben den Energiekosten der betrachteten Fertigungsstufe (Endfertigungsstufe der betrachteten Erzeugnisse) auch die in den bei der Fertigung eingesetzten Werkstoffen und Betriebsmitteln enthaltenen Energiekosten, die in den vorgeschalteten Fertigungsstufen und bei der zu liefernden Betriebsmittelindustrie entstanden sind, erfaßt werden, da sie in dem Maße des Werkstoff- und Betriebsmittelverbrauchs die Erzeugnisse belasten. Die Energiekosten der Endfertigungsstufe der betrachteten Erzeugnisse werden als unmittelbare Energiekosten, die in den von der Endfertigungsstufe bezogenen Werkstoffen und Betriebsmitteln enthaltenen Energiekosten als mittelbare Energiekosten der betrachteten Erzeugnisse bezeichnet.

Das Begriffspaar »direkt–indirekt« wird dagegen im Sinne der betriebswirtschaftlichen Kostentheorie zur Kennzeichnung der Kostenverrechnungsart (Einzelkosten–Gemeinkosten) angewendet. Auf jeder Fertigungsstufe unterscheidet man also je nach der Verrechnungsart zwischen direkten Energiekosten (Energieeinzelkosten) und indirekten Energiekosten (Energiegemeinkosten). Zu den direkten Energiekosten gehört vor allem der bewertete Energieverbrauch der

Fertigungsanlagen und -maschinen, der für die Fertigungseinheit berechnet werden kann, zu den indirekten Energiekosten vor allem der bewertete Energieverbrauch der Hilfsanlagen – wie der Beleuchtung, Raumheizung usw. –, der nur über mehr oder minder willkürliche Schlüssel auf die Fertigungseinheiten umgelegt werden kann [8].

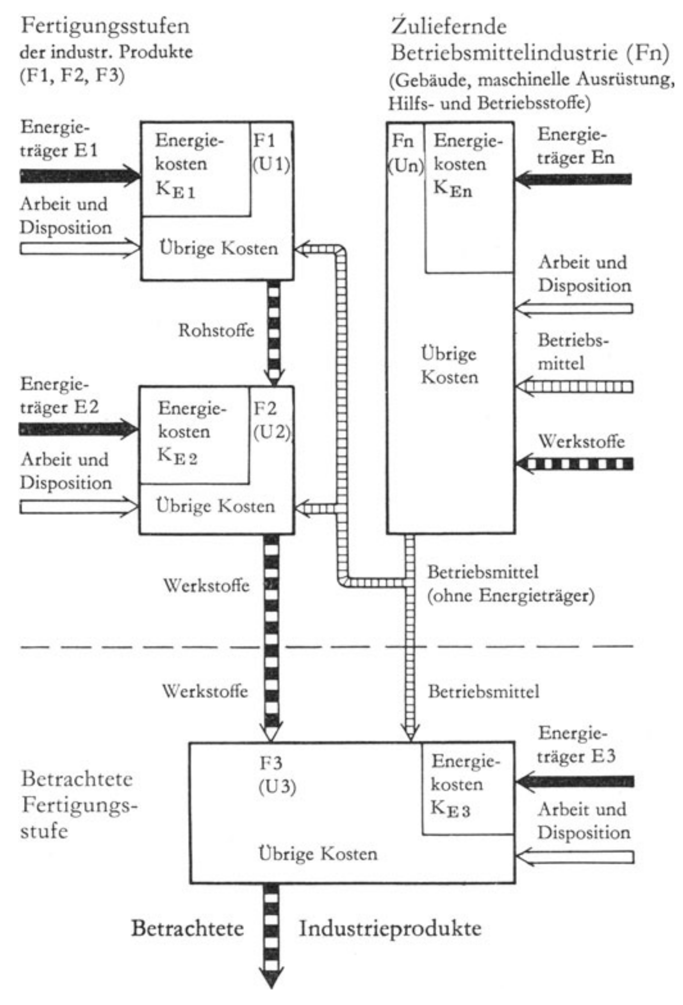


Abb. 2 Schematische Darstellung eines Fertigungsflusses mit Kumulierung der Energiekosten [4]

In Abb. 2 ist der Fertigungsfluß eines Industrieerzeugnisses durch drei Fertigungsstufen (F 1, F 2, F 3) sowie die Verflechtung dieser Fertigungsstufen mit der Energiewirtschaft (E 1, E 2, E 3) und mit der zu liefernden Betriebsmittelindustrie (Fn) schematisch dargestellt. Die Fertigungsstufen können sowohl als Fertigungsstufen innerhalb einer Unternehmung als auch als fertigungstechnisch geordnete

Folge selbständiger Unternehmungen (U 1, U 2, U 3) aufgefaßt werden. Die Anzahl der Fertigungsstufen hängt von der Art und Zusammensetzung der Erzeugnisse ab. Die zuliefernde Betriebsmittelindustrie, die die Fertigungsstufen mit baulichen und maschinellen Anlagen, Werkzeugen, Hilfs- und Betriebsstoffen versorgt, ist als Unternehmungskomplex (Un) gedacht.
Die Unternehmungen benötigen zur Leistungserstellung Energieträger, Arbeitsleistungen (einschließlich der dispositiven Leistungen Geschäftsführung, Organisation und Planung) und Betriebsmittel. Die diesen Produktionsfaktoren entsprechenden Ströme sind bei jeder Fertigungsstufe sowie bei der Betriebsmittelindustrie eingezeichnet. Den Energieträgerstrom E 1, E 2 und E 2 entsprechen in den Fertigungsstufen die Energiekosten K_{E1}, K_{E2}, und K_{E3}, dem Energieträgerstrom En bei der zuliefernden Betriebsmittelindustrie die Energiekosten K_{En}. Die Energiekosten ergeben zusammen mit den übrigen Kosten die gesamten Kosten der Unternehmungen.
Der Produktionsfaktor »Werkstoffe« wird nicht von allen Fertigungsstufen (Unternehmungen) bezogen. In der ersten Fertigungsstufe eines jeden Produktes werden die Rohstoffe gewonnen (Gewinnungsbetriebe); es werden nur die Faktoren Arbeit, Betriebsmittel und Energie eingesetzt. Die zweite Fertigungsstufe ist die erste Be- und Verarbeitungsstufe; neben den Faktoren Arbeit, Betriebsmittel und Energie wird auch der Faktor »Rohstoffe« eingesetzt. In der dritten und den folgenden Fertigungsstufen werden die Rohstoffe zu Halb- und Fertigfabrikaten weiterverarbeitet. Ab der dritten Fertigungsstufe und in der zuliefernden Betriebsmittelindustrie werden Werkstoffe eingesetzt (Halb- und Fertigfabrikate und Rohstoffe).
Betrachtet man in dem Schaubild die Erzeugnisse der dritten Fertigungsstufe F 3, dann sind die Energiekosten K_{E3} die unmittelbaren Energiekosten dieser Produkte. Diese unmittelbaren Energiekosten können nach der Art ihrer Verrechnung auf die Erzeugnisse in direkte und indirekte Energiekosten unterschieden werden.
Mittelbare Energiekosten der Produkte F 3 sind die Energiekosten K_{E2} und K_{E1} der vorgeschalteten Fertigungsstufen F 2 und F 1 sowie die Energiekosten K_{En} der zuliefernden Betriebsmittelindustrie Fn. Auch diese mittelbaren Energiekosten können nach der Art ihrer Verrechnung in den vorgeschalteten Fertigungsstufen und in der Betriebsmittelindustrie in direkte und indirekte Energiekosten unterschieden werden. Die mittelbaren Energiekosten K_{E2} und K_{E1} belasten die Produkte von F 3 in dem Maße des Werkstoffverbrauchs in F 3, die mittelbaren Energiekosten K_{En} in dem Maße des Betriebsmittelverbrauchs in F 3, F 2 und F 1.

1.3 Bestimmung des Energiekostenanteils am Preis von Fertigerzeugnissen

Als Schlußfolgerung aus den bisherigen Ausführungen kann man ableiten, daß der Anteil der Energiekosten am Preis einiger branchentypischer Fertigerzeug-

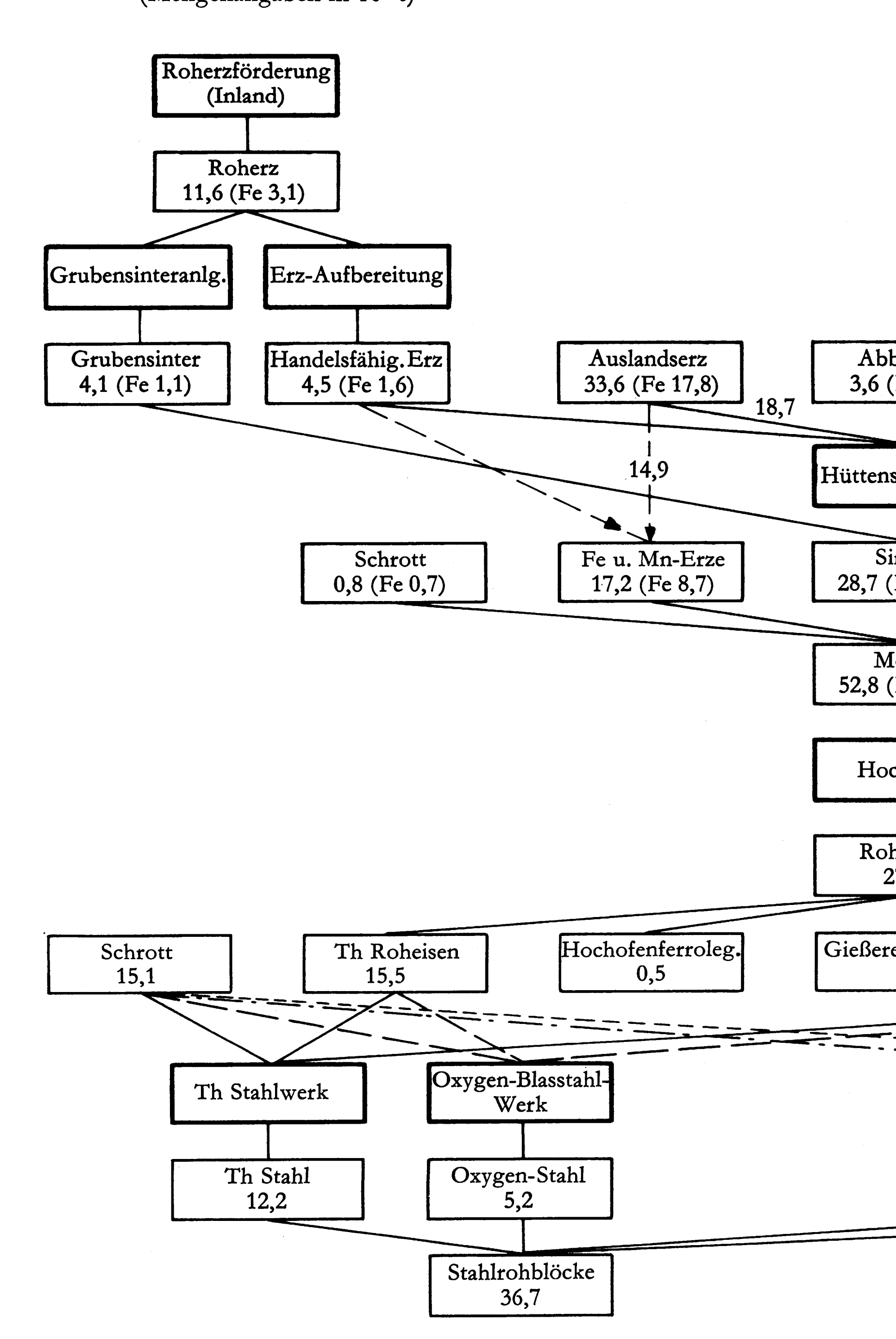
nisse das beste Maß für die Beurteilung des Einflusses der Energiepreise auf die Wettbewerbsfähigkeit des betreffenden Energiezweiges gibt. Die Ermittlung dieser Kennwerte gliedert sich damit in die folgenden Teilabschnitte:

1. Bestimmung des Stoffflusses vom Rohstoff bis zum Fertigerzeugnis durch die einzelnen Fertigungsstufen.
2. Bestimmung des direkten und indirekten Energieverbrauches in den einzelnen Fertigungsstufen, die das zu untersuchende Erzeugnis durchläuft.
3. Bestimmung der Preise und Kosten für die in den einzelnen Fertigungsstufen eingesetzten Energieträger.
4. Bestimmung des Fertigproduktpreises.

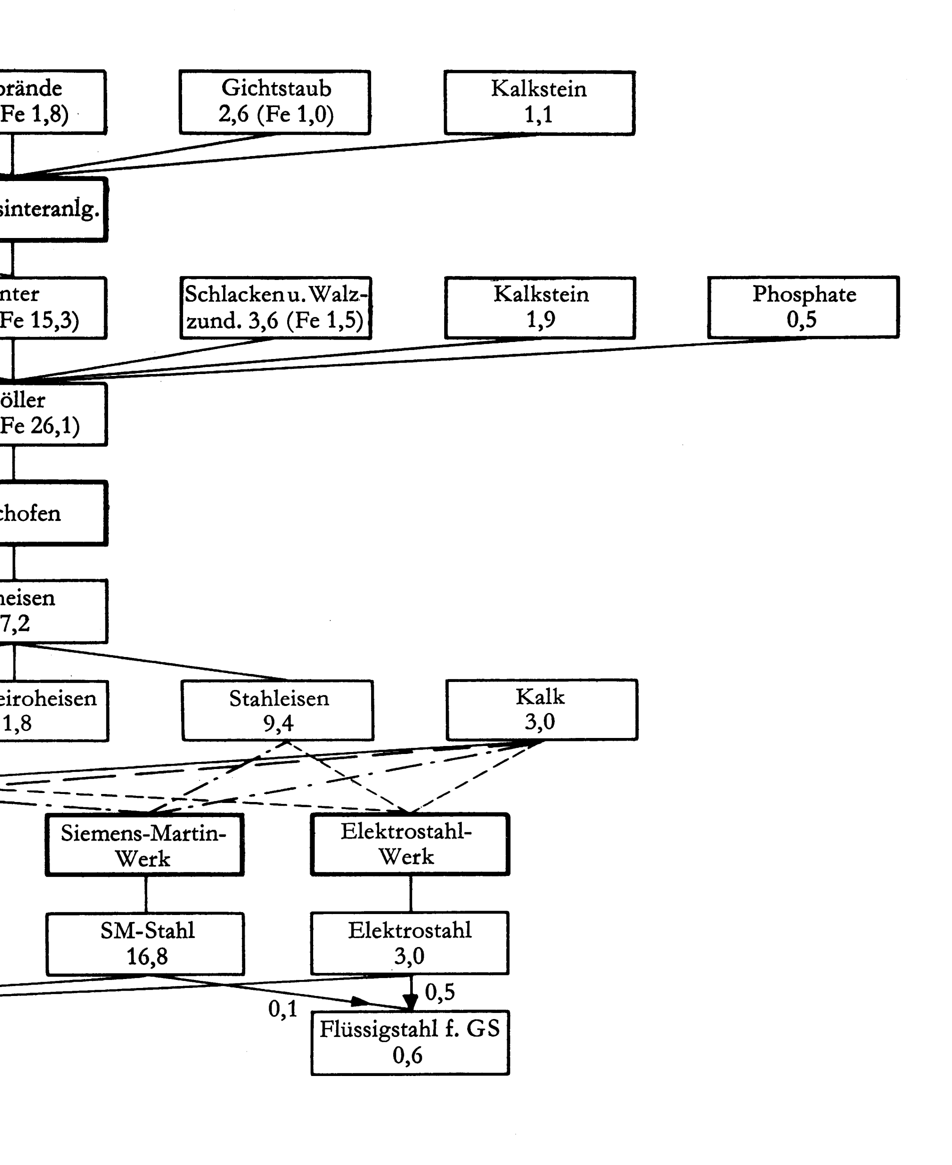
1.4 Auswahl branchentypischer Erzeugnisse für die Eisen schaffende Industrie

Für den Bereich der Eisen schaffenden Industrie ist in der vom Statistischen Bundesamt herausgegebenen Reihe »Eisen und Stahl« [9] die Erzeugung mengenmäßig erfaßt und nach Fertigerzeugnissen gegliedert zusammengestellt. Hieraus können die Fertigerzeugnisse, die als branchentypisch gelten und von denen sich Rückschlüsse auf den gesamten Industriezweig ziehen lassen, ausgewählt werden. In Tafel 1 ist zunächst ein Mengenflußbild dargestellt, aus dem man einen Überblick über den Anteil der einzelnen Stahlarten (entsprechend Produktqualitäten) gewinnen und den Rohstoffeinsatz über die notwendigen Fertigungsstufen verfolgen kann. Die Stoffmengen sind in den mit dünnen Linien umrandeten Kästen angegeben; die Zahlen darunter beziehen sich auf die im Jahre 1964 im Bundesgebiet verarbeiteten Mengen in 10^6 t. Bei den Rohstoffen für den Hochofen-Möller sind gleichzeitig die entsprechenden Mengen am Eisengehalt in Klammern mitangegeben. Die Blöcke mit dick ausgezogener Umrandung kennzeichnen ein bestimmtes Produktionsverfahren. Wie man sieht, hatte den größten Anteil an der Gesamtstahlerzeugung der Siemens-Martinstahl mit 45,1%, gefolgt vom Thomasstahl mit 32,8%, dem Oxygenstahl mit 14% und dem Elektrostahl mit 8%. Die sonstigen Stahlerschmelzungsverfahren zu Bessemer-, Rotor- und Tiegelstahl spielen heute mit 0,1% der Rohstahlerzeugung keine nennenswerte Rolle mehr. Im Jahre 1964 wurden in der Bundesrepublik $36{,}5 \cdot 10^6$ t Stahlrohblöcke für die Weiterverarbeitung eingesetzt. Davon wurde aus $2{,}5 \cdot 10^6$ t Halbzeug hergestellt; $0{,}9 \cdot 10^6$ t wurden von Freiformschmieden bezogen. Die weitaus größte Menge von $33{,}1 \cdot 10^6$ t wurde in den Walzwerken zu Walzstahlfertigerzeugnissen verarbeitet. Über die mengenmäßige Aufgliederung der einzelnen Walzstahlfertigerzeugnisse gibt Tafel 2 Aufschluß. Die Zahlen entstammen wiederum aus den Angaben des Statistischen Bundesamtes [9]. Den größten Anteil an der Walzstahlfertigerzeugung hat Stabstahl mit 23,8%, gefolgt vom Feinblech mit 17,3%, Grobblech mit 14,9%, Walzdraht mit 11,1%, Warmband mit 9,6% und Formstahl mit 5,3%. Durch diese Walzstahlfertigerzeugnisse, die insgesamt über 80% ausmachen, kann man die Produktarten der Eisenhüttenindu-

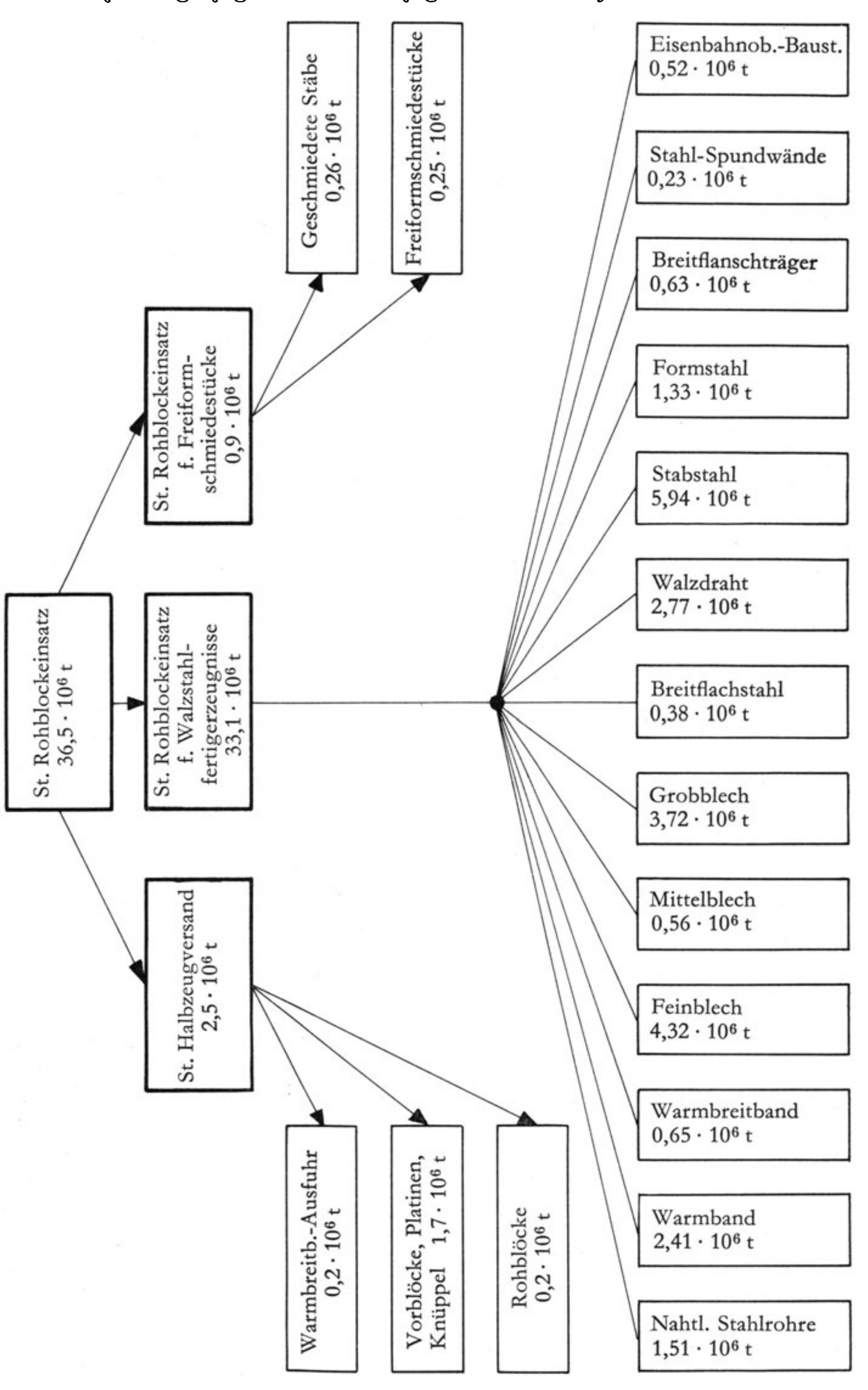
Tafel 1 Übersicht über die Erzförderung und -aufbereitung, Roheisen- und Rohstahlerze
(Mengenangaben in 10^6 t)



ugung der BRD im Jahre 1964



Tafel 2 Übersicht über die Weiterverarbeitung von Stahlrohblöcken zu Fertigerzeugnissen und Halbzeug in der BRD im Jahre 1964

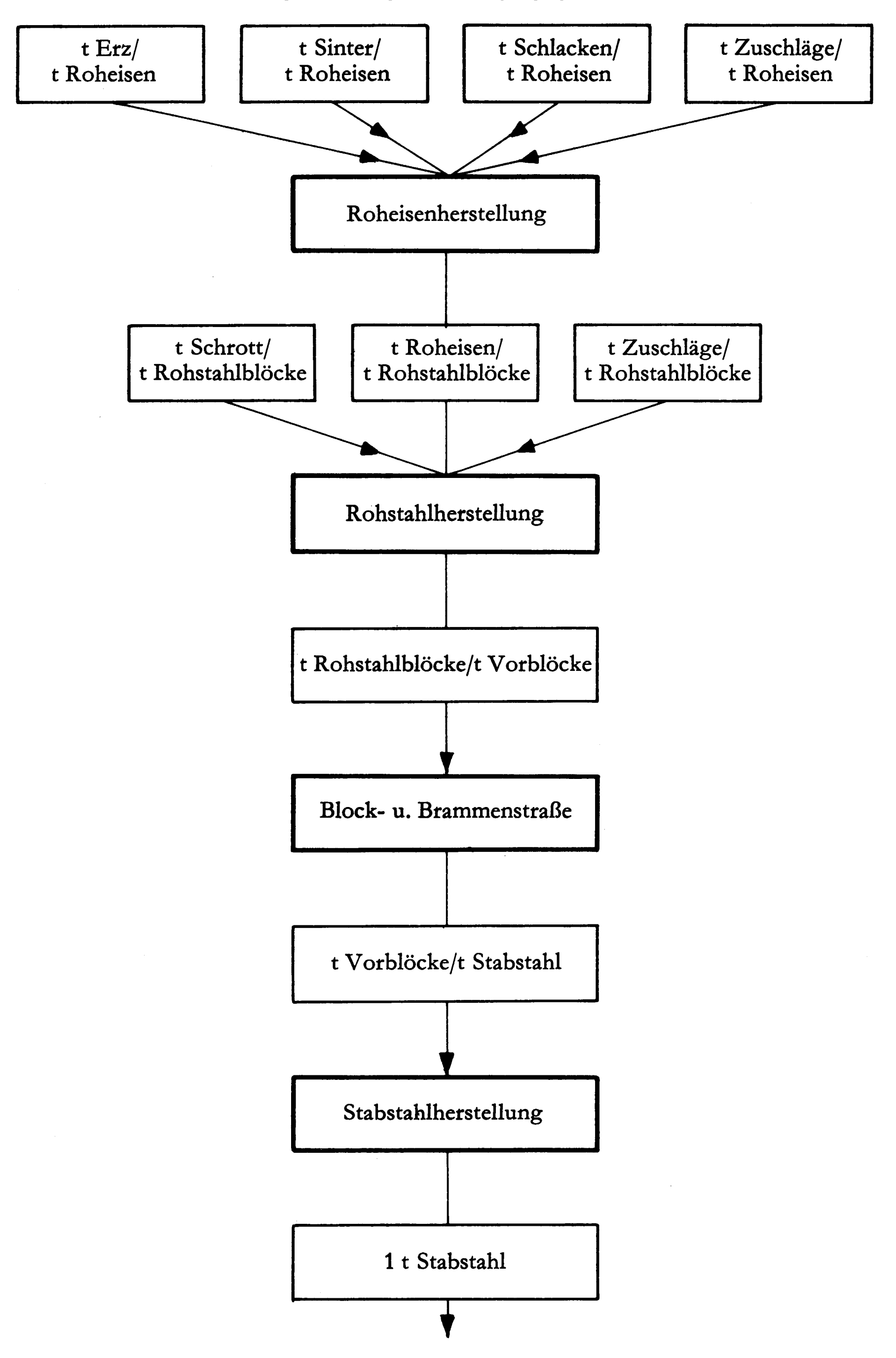


strie kennzeichnen. Es ist zweckmäßig, auch noch Warmbreitband miteinzubeziehen, weil es eine wesentliche Vorstufe für die modernere Mittel- und Feinblecherzeugung bildet.
Im vorliegenden Bericht wird der Energiekostenanteil am Listenpreis dieser sieben Walzstahlfertigerzeugnisse aus verschiedenen Stahlqualitäten untersucht.

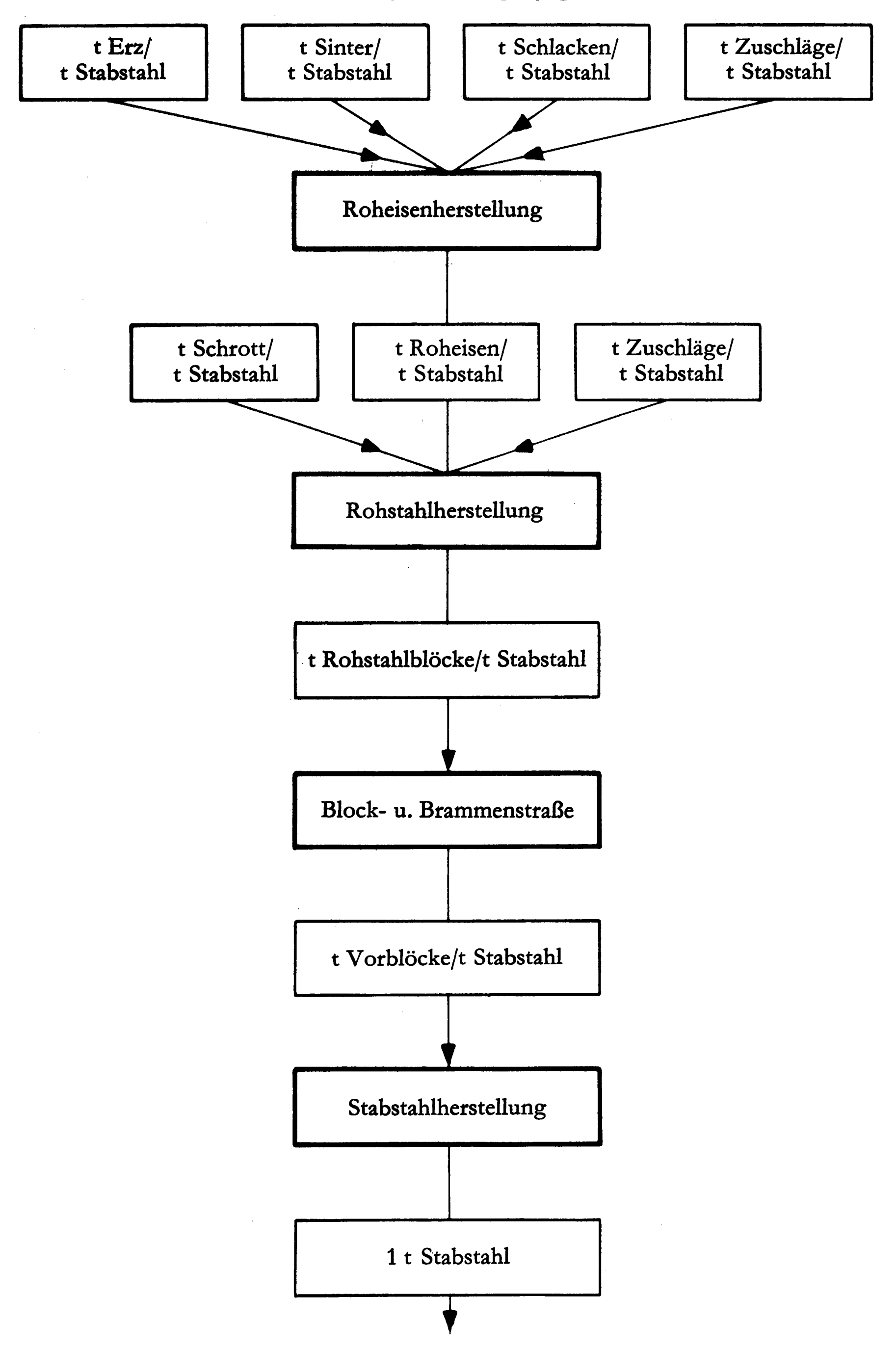
2. Darstellung des Werkstoffflusses im Fertigungsablauf zur Herstellung von Walzstahlfertigerzeugnissen

Voraussetzung bei der Methode der Energiekostenkumulierung für die Herstellung eines bestimmten Fertigerzeugnisses ist zunächst eine eingehende Kenntnis des Fertigungsablaufes, d. h. der Aufeinanderfolge der verschiedenen Fertigungsstufen und der in diesen Fertigungsstufen angewendeten technologischen Verfahren. Hierzu gehören Angaben über die in jede Fertigungsstufe eingesetzten Werkstoffe und Hilfs- und Betriebsstoffe, die notwendig sind, um die Menge von 1 t in dieser Fertigungsstufe zu gewinnen. Am Beispiel der Herstellung von Stabstahl ist ein derartiges Stoffflußbild in Tafel 3 veranschaulicht. Bezieht man die in jeder Fertigungsstufe eingesetzten Stoffmengen nicht auf 1 t Erzeugung der betrachteten Fertigungsstufe, sondern auf das Fertigerzeugnis der Endstufe, so kommt man zu einer Darstellungsweise, wie sie in Tafel 4 gezeigt ist. Für die betriebswirtschaftliche Beurteilung des Verfahrensablaufes eignet sich die erste Darstellungsweise besser; wegen der größeren Aussagekraft für die vorliegende Aufgabenstellung wird jedoch der zweiten Weise der Vorzug gegeben.
Da jedes der genannten sieben Walzstahlfertigerzeugnisse in verschiedenen Stahlqualitäten hergestellt werden, käme man zu 28 verschiedenen Fertigungsflußbildern. Um die Übersichtlichkeit zu wahren, werden die Fertigungsflußbilder zunächst nur bis zu den vier gebräuchlichsten Stahlerschmelzungsverfahren als Endfertigungsstufe zusammengestellt und dann in einer getrennten Darstellung die Verfahren der Warmformgebung behandelt.

Tafel 3 Zur Erläuterung der Modellbilder für den Stofffluß bei der Herstellung von Walzstahl-Fertigerzeugnissen



Tafel 4 Zur Erläuterung der Modellbilder für den Stofffluß bei der Herstellung von Walzstahl-Fertigerzeugnissen



3. Bestimmung des spezifischen Energieverbrauches der einzelnen Fertigungsstufen

3.1 Mittelbarer und unmittelbarer, direkter und indirekter Energieverbrauch

Die nächste Aufgabe besteht darin, den Energieverbrauch für jedes der genannten Walzstahlfertigerzeugnisse durch die einzelnen Fertigungsstufen zu verfolgen, d. h. zunächst, den Energieverbrauch in jeder Fertigungsstufe, bezogen auf die Tonne Erzeugung dieser Fertigungsstufe, zu bestimmen. In einem weiteren Schritt ist unter Berücksichtigung des jeweiligen Verhältnisses von Einsatz zu Ausbringung in jeder einzelnen Fertigungsstufe der Energieverbrauch dieser einzelnen Fertigungsstufen bezogen auf die Tonne Walzstahlfertigerzeugnis zu errechnen, um daraus insgesamt durch Summation dieser Energieverbrauchszahlen in den einzelnen Fertigungsstufen zu dem Energiebedarfswert zu kommen, der von den Rohstoffen her bis zum Fertigprodukt für dessen Herstellung aufzuwenden ist.
Den entscheidenden Anteil an den Energieaufwendungen für Walzstahlfertigerzeugnisse bringt der direkte Energiebedarf, der in den einzelnen Fertigungsstufen der gemischten Hüttenwerke und in den Vorstufen bei der Herstellung von eingesetzten Roh- und Hilfsstoffen entsteht. Zum direkten Energiebedarf wird auch der Energieaufwand, der zu den Hauptbetrieben gehörigen Hilfsbetriebe und betriebsinternen Transporte gezählt, wie beim Hochofen die Bunkeranlage, Begichtung, Gasreinigung, Pfannen- und Schlackenwirtschaft (jedoch nicht die Zement- und Schlackensteinfabriken); beim Stahlwerksbetrieb Mischer, Stripperhalle, Dolomit- und Schlackenanlage, Fallwerk; bei den Walzwerken, Wärmöfen, Zurichterei, Glüherei, Flämmerei und Versand.
Daneben ist, wie bereits erwähnt, ein Energiebedarf zu decken, der nur indirekt mit dem eigentlichen Fertigungsvorgang zusammenhängt, wie etwa der Wärmebedarf für die Raumheizung oder der Strombedarf für die Beleuchtung. Ein Teil dieses indirekten Energiebedarfs läßt sich wiederum eindeutig einer Fertigungsstufe zuordnen. Nicht aufteilen lassen sich dagegen Wärme- und Strombedarf für den allgemeinen Dienst, d. h. für Werkstransporte zwischen den einzelnen Betrieben, für Werkstätten, allgemeine Gebäudebeheizung, Kantinen usw. Hierfür wird bei der Untersuchung am zweckmäßigsten ein gemeinsamer Zuschlag auf die Stahlfertigungsstufe gemacht, wobei nach [7] 200 Mcal/t bzw. 20 kWh/t Rohstahl angesetzt werden können. Nach der Prinzipdarstellung eines Fertigungsflusses (Abb. 2) ist weiterhin der mittelbare Energieanteil, der in den Gebäuden und der maschinellen Ausrüstung der Fertigungsanlagen enthalten ist, mit in die Rechnung einzubeziehen. Der Anteil des Energiebedarfs, der bei der Erstellung dieser Fertigungsanlagen, wie z. B. Hochofen, Stahlwerksanlagen usw einmalig aufgewendet wurde, ist in den ersten Fertigungsstufen wegen der dort verarbeite-

ten hohen Tonnenleistungen und der hohen direkten spezifischen Energieaufwendungen noch relativ gering. In den Endfertigungsstufen im Walzwerk erreicht er jedoch bereits nicht mehr ohne weiteres vernachlässigbare Werte. Hierzu sei ein Beispiel angeführt: Für die Erstellung eines kontinuierlichen Mittelstahlwalzwerkes mit einer jährlichen Nennerzeugung von 300 000 t wurden 24 500 t Stahl und 72 000 m³ Beton eingebracht [10]. Als Überschlag soll zunächst festgestellt werden, wieviel Tonnen Stahl mit dem gleichen Strom- bzw. Wärmeaufwand hergestellt werden können wie sie für 1 t Beton aufzubringen sind. Rechnet man für die Bereitung von Beton mit einem Stromaufwand von 2% und einem Wärmeaufwand von 7,5%, gemessen am entsprechenden Energieaufwand für die Herstellung von 1 t Walzstahl, so entspricht das, wenn der Aufwand für Beton durch Aufwand für Stahl ausgedrückt wird, einem Stromaufwand für 25 940 t Stahl und einem Wärmeaufwand für 29 900 t Stahl. Bei der Verformung auf der Mittelstahlstraße werden mit rd. 85 kWh/t von den etwa 480 kWh zur Herstellung von Walzstahl aus Erz rd. 15% des gesamten Stromeinsatzes (und entsprechend 6,5% des gesamten Wärmeeinsatzes) aufzuwenden sein. Das bedeutet, bei der Erstellung der Produktionsanlage sind – gerechnet mit einer kalkulatorischen Lebensdauer der Anlagen von 20 Jahren – rd. 2,5% mittlerer Stromaufwand und 8% mittlerer Wärmeaufwand bezogen auf die direkten Energieaufwendungen bei Betrieb der Anlage anzusetzen. Trotz dieser im Gewicht fallenden Werte sollen die mittelbaren Energieanteile, die über die Erstellung der Fertigungsanlagen entstehen, außer Ansatz bleiben; einmal weil sie vor allem nur in den letzten Warmformgebungsstufen so spürbar werden, zum anderen, weil sie als einmaliger Aufwand durch Preisgefügeänderungen auf dem Energieträgermarkt während der Betriebszeit der Anlagen im Gegensatz zu den laufenden Energiekosten nicht mehr beeinflußt werden können.

3.2 Bildung von Energieverbrauchszahlen

In einem gemischten Hüttenwerk wird Energie in zahlreichen verschiedenen Formen verwendet. Ein Teil der in die Verfahren eingesetzten Energieformen wird so verwertet, wie sie von außenstehenden Unternehmungen bezogen werden (in veredelter und unveredelter Form), ein Teil wird innerhalb des gemischten Hüttenwerkes selbst umgewandelt. Aus Tab. 1 kann man die im Jahre 1964 in der Eisen schaffenden Industrie eingesetzten Fremdenergieträger entnehmen [9]. Dabei sind die vielfach auf dem Hüttenwerksgelände liegenden Hüttenkokereien als Fremdbetriebe betrachtet.
Einige der aufgezählten Energieträger durchlaufen im Hüttenwerk einen Umwandlungsprozeß, bevor sie für die einzelnen hüttenmännischen Verfahren verwendet werden. Ein Teil der Energiewandlungsprozesse ist noch im eigentlichen Sinn als Wandlungsprozeß anzusprechen, wie z. B. die Erzeugung von Strom und Dampf im Hüttenkraftwerk; die Erzeugung von Wind für Hochofen- und Stahlwerksbetriebe, von Preßluft, Preßwasser und Sauerstoff schafft im Grunde nur die

Tab. 1 Verbrauch an fremdbezogenen Energieträgern in der Eisen schaffenden Industrie (1964)[1]

Energieträger	Verbrauch	Dimension
Steinkohle und Ballastkohle	1 456	10^3 t
Koks	19 223	10^3 t
Koksgrus	1 905	10^3 t
Sonstige Sinter-Brennstoffe	95	10^3 t
Braunkohle, Staub, Abrieb und Schwelkoks	587	10^3 t
Heizöl	2 447	10^3 t
Koksgas	5 208	10^6 Nm^3
Erdgas	279	10^6 Nm^3
Strom	8 932	10^6 kWh

[1] Nach Abzug der Abgaben an Dritte und des Verbrauches der Eisen-, Stahl- und Tempergießereien.

notwendigen Betriebshilfsmittel für die verschiedenen Verfahren. Als Abfallprodukt entsteht beim Hochofenprozeß Gichtgas, das in früherer Zeit die Energiegrundlage für die gemischten Hüttenwerke bildete.

Eine bis ins einzelne gehende Untersuchung aller in jeder Fertigungsstufe eingesetzten Energieträger wäre deshalb sinnlos, weil die einzelnen Brennstoffe bis zu einem bestimmten Grade substituierbar sind. So findet man Siemens-Martin-Öfen, die mit Erdgas und einem Zusatz von Schweröl, solche, die mit Schweröl und Koksgas und solche, die mit Gichtgas befeuert werden (wenn man von dem früher üblichen Betrieb mit Generatorgas absieht), wobei die verschiedensten Zumischungen von Sauerstoff möglich sind; zur Erzeugung des Hochofenwindes werden zum Teil innerhalb des gleichen Hüttenwerkes Gichtgas-, Dampf- und Elektro-Turbogebläse sowie vereinzelt auch noch Großgasmaschinen als Antriebe für die Gebläse verwendet. Da weiterhin der Einsatz der verschiedenen Energieträger an der gleichen Anlage nach dem jeweiligen Energieträgerangebot im Werk zum Teil fortlaufend verändert wird, braucht man eine gemeinsame Meßgröße, in der man die verschiedenen Energieträger bewerten kann. Deshalb wird der gesamte Verbrauch von Brennstoffen und von Dampf, sofern der Dampf als Heizwärme eingesetzt wird, multipliziert mit dem unteren Heizwert bzw. einer mittleren Dampfenthalpie (vgl. Tab. 2) zusammen als Wärmeverbrauch in Mcal/t ausgewiesen.

Als zweite Energieverbrauchszahl wird zur Kennzeichnung des Bedarfs an mechanischer Energie (bei elektrischen Schmelzbetrieben auch der Wärmeenergie) der spezifische Strombedarf in den einzelnen Fertigungsstufen angegeben. Im spezifischen Stromverbrauch ist weiterhin der Aufwand zur Erzeugung von Sauerstoff, Preßluft, Preßwasser und Betriebswasser für die einzelnen Fertigungsstufen enthalten, bewertet mit dem Strombedarf, der im Durchschnitt zur Erzeugung einer Einheit der genannten Betriebshilfsmittel notwendig ist (vgl. Tab. 3).

Tab. 2 Heizwerte und Erzeugungswärme der im Hüttenwerk eingesetzten Wärmeträger

Brennstoff	Heizwert
1 kg Koks	7000 kcal
1 kg Sinterbrennstoff[1]	6000 kcal
1 kg sonstige feste Brennstoffe	7000 kcal
1 kg Heizöl	9600 kcal
1 Nm^3 Koksofengas	4000 kcal
1 Nm^3 Erdgas	6300 kcal
1 kg Dampf (Erzeugungswärme 1000 kcal)	750 kcal
1 Nm^3 Gichtgas[2]	1000 kcal

[1] Schwankt je nach dem Feuchtigkeitsgehalt zwischen 5000 und 6100 kcal/kg.
[2] Alle Gichtgasverbrauchswerte sind immer auf Gichtgasmenge bei 1000 kcal/Nm^3 umgerechnet.

Auf die Schwierigkeiten, die die Bewertung der Erzeugung des Hochofenwindes mit durch Gichtgas, Dampf oder Strom angetriebenen Gebläsen mit sich bringt, wird bei der Erläuterung der spezifischen Verbrauchszahlen im Hochofenbetrieb noch näher eingegangen.

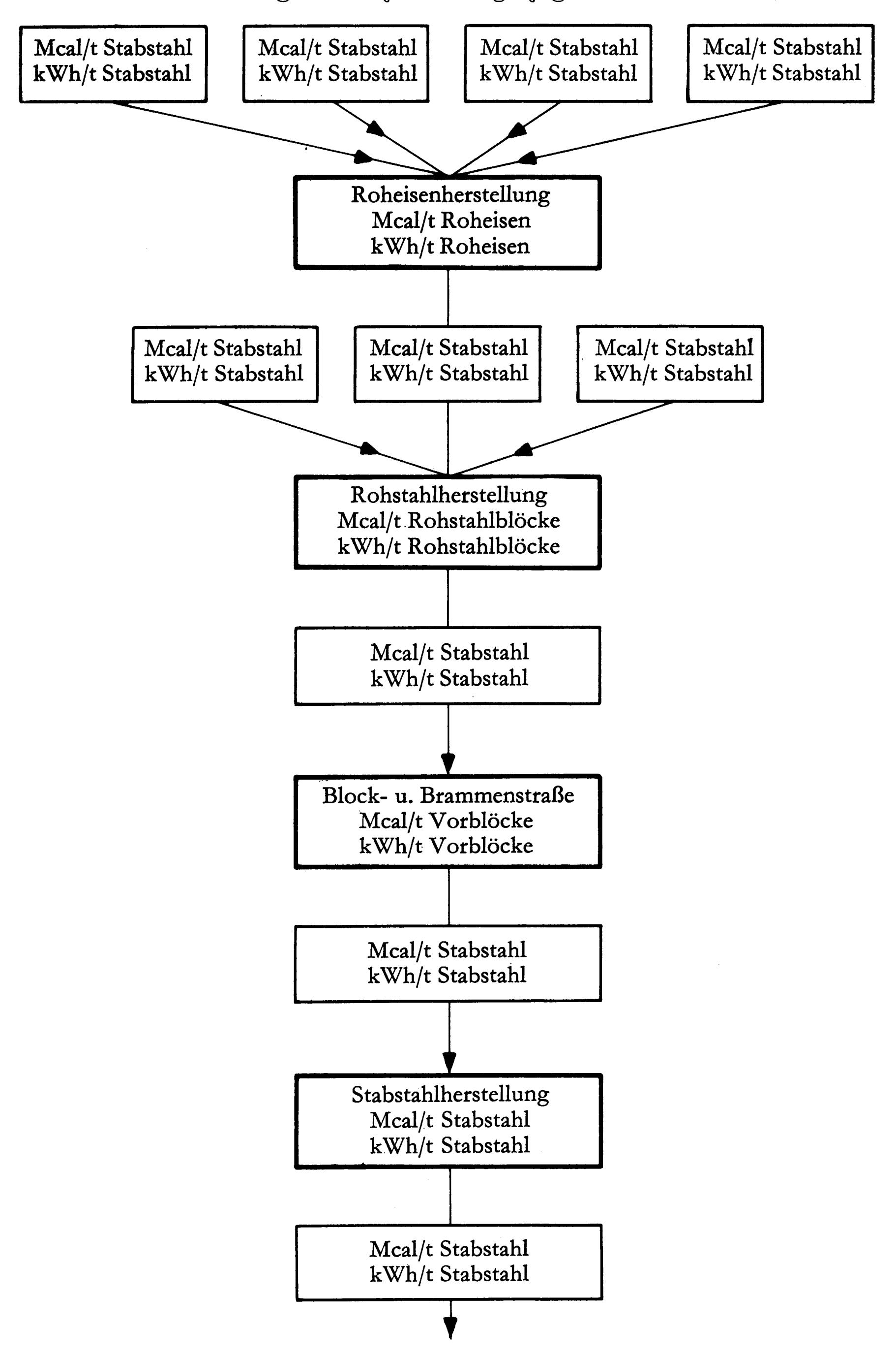
Tab. 3 Stromäquivalentwerte für verschiedene Energiearten[1]
(in Anlehnung an [7])

Energieart	Strombedarf
Sauerstoff	0,80 kWh/Nm^3
Preßluft	0,12 kWh/Nm^3
Preßwasser	4,00 kWh/m^3
Betriebswasser	0,30 kWh/m^3

[1] Die Kennzahlen sind mittlere Betriebsdurchschnittswerte; sie setzen zwar eine Normalbeschäftigung des Werkes voraus, enthalten aber auch den Bedarf bei Unterbrechungen im Betriebsablauf.

Durch die Wahl der beiden Energieverbrauchskenngrößen (Mcal/t und kWh/t) läßt sich der Energieverbrauch in den einzelnen Fertigungsstufen hinreichend genau beschrieben; zudem ist ein zwischenbetrieblicher Vergleich damit am ehesten möglich.
Eine Zusammenfassung als Gesamtwärmeverbrauchszahl (Nettowärmeverbrauch, weil der Energiegewinn aus Abwärmeverwertung vom Gesamtenergieeinsatz abzuziehen ist) schließt die Willkür der Bewertung der elektrischen Größe kWh in Wärmeeinheiten (kcal bzw. Mcal) ein. Im Schmelzbetrieb z. B. können der Wärmeinhalt der elektrischen Energie und der von Brennstoffen für vergleichbare Anlagen auf Grund der zum Teil erheblichen Unterschiede des Wirkungsgrades nicht

Tafel 5 Zur Erläuterung der Modellbilder für die Energieverbrauchszahlen bei der Herstellung von Walzstahl-Fertigerzeugnissen



gleich veranschlagt werden. Physikalisch gesehen entspricht einer kWh ein Wärmeinhalt von 860 kcal; falls der Strom in einem hütteneigenen Kraftwerk erzeugt wird, so sind dazu jedoch bei dem meist üblichen Betrieb von Kondensationsdampfturbinen je nach Anlagenalter und Größe zwischen 2800 und 5500 kcal/kWh notwendig. Diese Zahl wird noch durch den zwischen Sommer- und Winterbetrieb stark veränderlichen Anteil der Stromerzeugung mit Gegendruckdampfanlagen beeinflußt. Deshalb wurde in allen weiteren Untersuchungen bewußt auf irgendeine Zusammenfassung von Wärme- und Stromverbrauchszahl verzichtet.
Die Energieverbrauchswerte für die einzelnen Fertigungsstufen ergeben, unter Berücksichtigung der Verhältniszahlen von eingesetzten zu ausgebrachten Stoffmengen, als Summe den Energieverbrauch, der bis zur betrachteten Fertigungsstufe aufgelaufen ist. In Tafel. 5 sind die in das Fertigungsflußbild einzutragenden Energiekennwerte angedeutet. In den stark umrandeten Feldern, die wiederum Fertigungsverfahren kennzeichnen, findet man den Energiebedarf dieser Fertigungsverfahren, bezogen auf 1 t des Erzeugnisses dieser Fertigungsstufe (z. B. t RE, t Rohstahlblöcke). In den dünn umrandeten Blöcken ist der Energieinhalt der Werkstoffe, die für 1 t Fertigerzeugnis der letzten Fertigungsstufe (z. B. Stabstahl) einzusetzen sind, abzulesen.

3.3 Auswirkung verschiedener Einflüsse auf die Bildung mittlerer Energieverbrauchszahlen

Die aus amtlichen oder betrieblichen Statistiken oder aus Verbandsstatistiken gewinnbaren Energieverbrauchszahlen beziehen sich immer auf das gesamte Produktionsprogramm der Wirtschaftszweige oder Betriebe, die fast immer eine Vielzahl von Produktarten und -qualitäten herstellen, und lassen sich kaum auf die einzelnen Produkte umrechnen. Daher ist man zwangsläufig auf einen Erhebungsmodus angewiesen, der vom technologischen Fertigungsablauf ausgehend die in den einzelnen gemischten Hüttenwerken ermittelten spezifischen Energieverbrauchszahlen bei den hüttenmännischen Verfahren zugrunde legt.
Wie im zweiten Abschnitt an Hand von Abb. 1 gezeigt wurde, können die Verhältnisse in einzelnen Werken recht erheblich voneinander und von einem Durchschnittswert abweichen, je nach dem, welches Erschmelzungsprogramm und welches Walzprogramm vorliegt. Weiterhin umfassen die unter den verschiedenen Walzstahlfertigerzeugnissen geführten Sammelbezeichnungen wie beispielsweise Stabstahl, ein ganzes Spektrum verschiedener Profilarten und Abmessungen. Selbst auf die Fertigung eines ganz bestimmten Walzstahlfertigerzeugnisses einer genau definierten Qualität und genau definierten Abmessungen wirken sich zahlreiche weitere Einflüsse aus, die Unterschiede im Energieverbrauch bedingen, wie etwa Belastungsgrad, Art, Alter, Zustand und Größe der Anlagen und verwendete Energieträger. Um abzugrenzen, inwieweit diese Einflüsse zu berücksichtigen sind, werden sie in den folgenden Abschnitten näher untersucht.

3.31 Einfluß der Entwicklung der hüttenmännischen Verfahren auf die spezifischen Energieverbrauchswerte

In den letzten Jahren ist die Struktur der Wärme- und Kraftwirtschaft der gemischten Hüttenwerke in starke Bewegung geraten, die vor allem auf das Vordringen der Sauerstoffmetallurgie, die Verbesserung der Hochofentechnik und die fortschreitende Mechanisierung aller Betriebe zurückzuführen ist [7].
Die Fortschritte in der Hochofentechnik sind im wesentlichen durch eine Steigerung der Produktion je Ofeneinheit und durch die Senkung des spezifischen Koksverbrauches gekennzeichnet (vgl. Abb. 3). Das wirksamste Mittel zur Senkung des Koksverbrauches war die Aufbereitung des Erzmöllers durch Verringerung der nichtmetallischen Begleitstoffe und Verbesserung der physikalischen Beschaffenheit des Möllers [11], [12]. Eine weitere Senkung des Koksverbrauches bewirkte die Erhöhung der Heißwindtemperatur [13] und eine Erhöhung des Gegendruckes an der Gicht [14]. Inzwischen sind die Betriebsergebnisse einzelner Hochöfen bekanntgeworden, deren Koksverbrauch mit weniger als 500 kg/t RE schon sehr nahe am theoretischen Mindestkoksverbrauch von 460 bis 520 kg/t RE liegt [15]. In der Bundesrepublik dürften auf längere Sicht Koksverbrauchszahlen von 500 bis 600 kg/t RE zu erzielen sein [15]. Gleichzeitig mit dem Einsatz eines Möllers mit höherem Fe-Gehalt ist die Verwendung von Inlandserzen erheblich

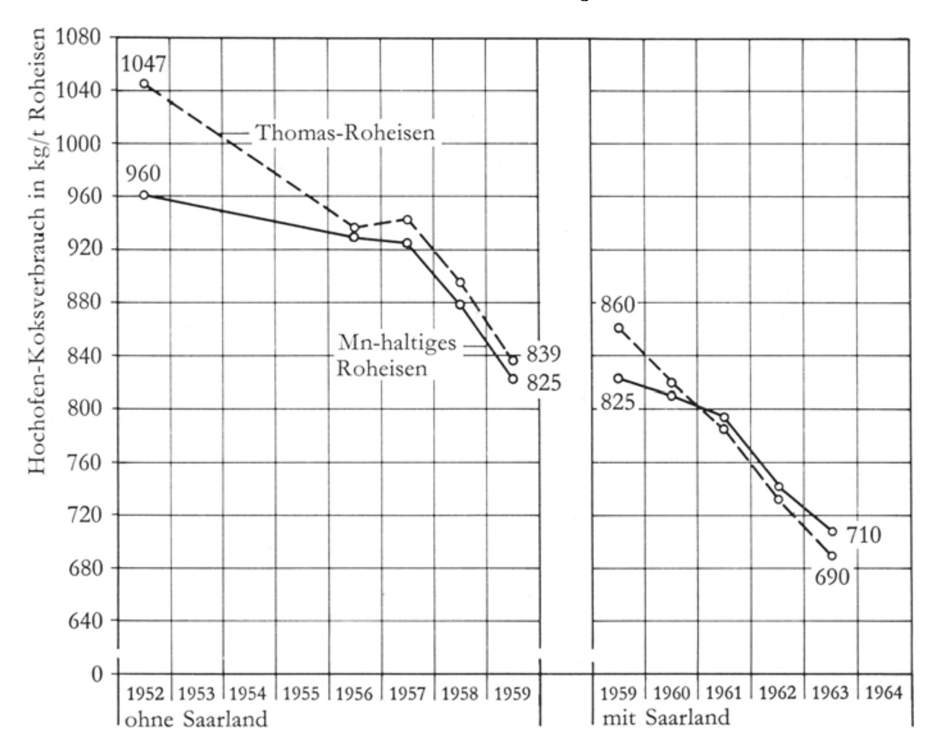


Abb. 3 Entwicklung des Hochofen-Koksverbrauches

– im Bundesdurchschnitt von über 25% im Jahre 1953 auf rd. 10% im Jahre 1964 – zurückgegangen. In der letzten Zeit ist der Anteil der Anlagen zur Stahlerschmelzung, die mit Sauerstoffzusatz gefahren werden, sowohl beim Herdfrischverfahren im Siemens-Martin-Ofen wie beim Blasverfahren im Konverter in ständig weiterem Vordringen begriffen, wie Abb. 4 zeigt, in dem die Entwick-

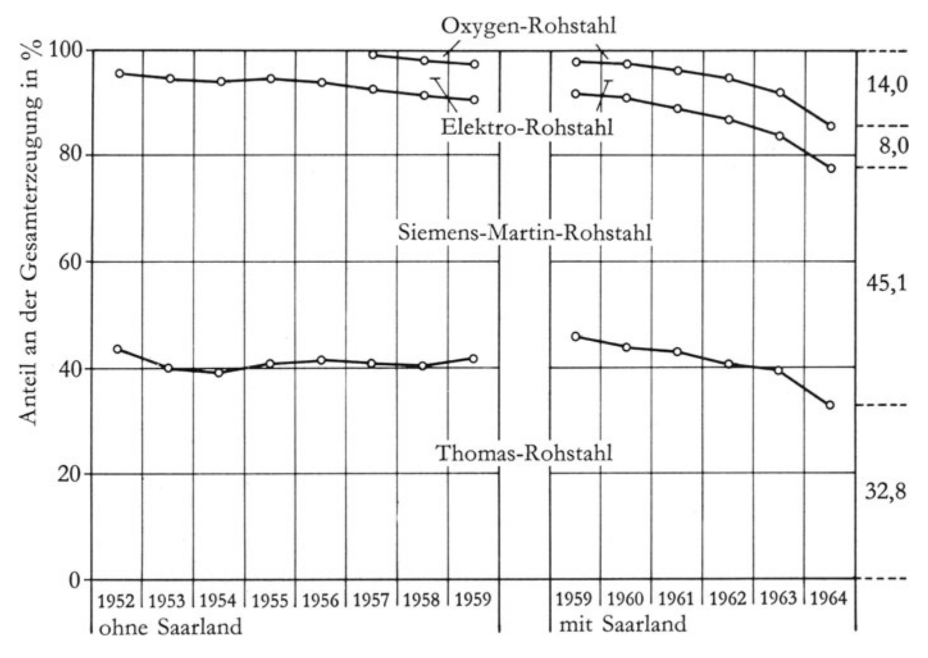


Abb. 4 Sortenanteile an der Rohstahlerzeugung 1952–1964

lung der Rohstahlerzeugung nach Sortenanteilen aufgetragen ist. Mit dem zunehmenden Einsatz der Sauerstoffmetallurgie ändern sich auch die spezifischen Energieverbrauchszahlen der Stahlerschmelzungsverfahren. So verringert sich nach F. Wesemann [7] der reine Heizwärmebedarf beim Frischen im Siemens-Martin-Stahlwerk mit Verbrennungsluft und Sauerstoffzusatz von 1100 Mcal/t Rohstahl auf 650 Mcal/t bei einer Verwendung von reinem Sauerstoff an Stelle von Verbrennungsluft. Andererseits nimmt damit der Strombedarf für Luft und Sauerstoff zum Frischen von 40 kWh/t Rohstahl auf 210 kWh/t Rohstahl zu. Die Sauerstoffmetallurgie verstärkt die sich in der Industrie allgemein abzeichnende Tendenz eines Anwachsens des elektrischen Energiebedarfes gegenüber einem Absinken oder Gleichbleiben des Wärmebedarfes.

An Hand dieser wenigen Beispiele sollte gezeigt werden, wie stark die verfahrenstechnischen Veränderungen, die sich im Laufe der Jahre ergeben haben, auf die spezifischen Energieverbrauchswerte eingewirkt haben. Den beschriebenen Untersuchungen dieses Berichtes kommt damit die Bedeutung einer statischen Analyse zu, d. h. sie haben in ihren quantitativen Aussagen nur für einen begrenzten Zeitraum Gültigkeit.

3.32 Einfluß des Belastungsgrades von Anlagen auf deren spezifische Energieverbrauchswerte

Die Angabe einer spezifischen Wärme- bzw. einer Stromverbrauchszahl für irgendeine Anlage gilt strenggenommen nur bei einer ganz bestimmten, genau definierten Fertigung dann, wenn die Anlage einen stationären Betriebszustand erreicht hat; denn im Grunde entspricht eine solche Angabe nur einem Punkt aus dem Energieverbrauchskennlinienfeld der betrachteten Anlage [16], [17]. Es ist dabei zwischen dem mengenmäßigen und dem zeitmäßigen Beschäftigungs- oder auch Belastungsgrad zu unterscheiden. Unter »mengenmäßigem Belastungsgrad« soll die Größe verstanden werden, die bei kontinuierlichem Betrieb den Anteil der tatsächlich in einem bestimmten Zeitraum durchgesetzten Fertigung zur Nennfertigung in diesem Zeitraum angibt. Hat z. B. ein Stoßofen eine stündliche Nennleistung von 80 t und werden aus diesem Ofen nur 40 t/h gezogen, so entspricht das einem mengenmäßigen Belastungsgrad von 50%. Mit »zeitlichem Belastungsgrad« soll der zeitliche Einsatz einer bestimmten Fertigungsanlage beschrieben werden. Ist der Ofen kontinuierlich über zwei Schichten (16 h/d) in Betrieb, so entspricht das, bezogen auf den täglich möglichen Einsatz dieser Anlage von 24 h/d, einem zeitlichen Belastungsgrad von 66,6%. Innerhalb der

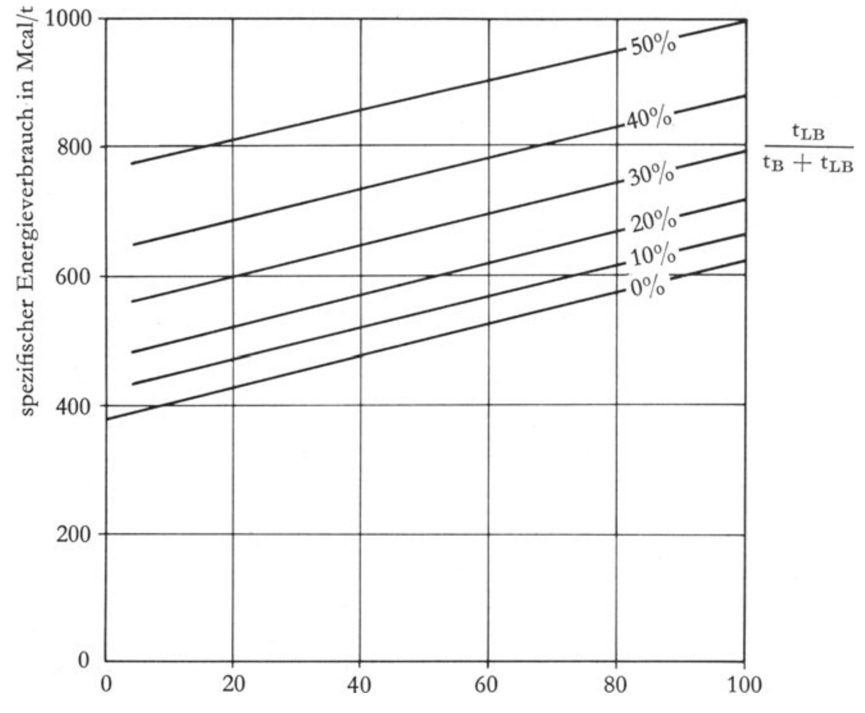


Abb. 5 Verbrauchskennlinienfeld eines gasbeheizten Schmiedeofens

Pausenzeit von 8 Stunden, in der die Energiezufuhr abgeschaltet ist, findet durch die Wärmeabgabe an die Umgebungsluft eine Entspeicherung der Anlageteile statt. Diese entspeicherte Wärmemenge muß bis zum Beginn der nächsten Fertigungsperiode zur Erreichung der notwendigen Prozeßtemperatur zunächst wieder aufgebracht werden [18], [19]. Zu unterscheiden von den Pausenzeiten sind Hilfs- und Nebenzeiten sowie Störzeiten, in denen die Energiezufuhr eingeschaltet bleibt, eine Fertigung aber nicht stattfindet; diese Zeiten werden mit Leerbetriebszeiten t_{LB} bezeichnet [20]. Stellt man den spezifischen Energieverbrauch – in Abhängigkeit von der auf die Nennfertigungsmenge bezogenen tatsächlichen Fertigung – je vollproduktive Betriebsstunde (zur Kennzeichnung des mengenmäßigen Belastungsgrades) mit dem Verhältnis von Leerbetriebszeit zu Gesamtbetriebszeit der Anlage (zur Kennzeichnung der zeitlichen Auslastung; der Einfluß der Pausenzeiten mit abgeschalteter Energiezufuhr ist hierbei nicht enthalten) dar, so erhält man ein Energieverbrauchskennlinienfeld für diese Anlage. In Abb. 5 sind die Verhältnisse für einen gasbeheizten Schmiedeofen als Beispiel veranschaulicht [21]. Man kann daraus den erheblichen Einfluß des Belastungsgrades auf den spezifischen Energieverbrauch, der hier Unterschiede im Verhältnis 1:2,5 bringt, ablesen.
Die Auslastung einer Anlage hängt in entscheidendem Maße neben der Auftragslage auch vom zu fertigenden Sortenprogramm ab. So ist z. B. bei der Walzung schmaler Bänder der spezifische Energieverbrauch höher als bei der Walzung breiterer Abmessungen auf der gleichen Walzenstraße, weil der Energiebedarf in den Leerbetriebszeiten bei schmaleren Bändern stärker zum Tragen kommt [22].

3.33 Einfluß von Anlagengrößen und -alter auf die spezifischen Energieverbrauchswerte

Angaben über die zu einem bestimmten Verfahren gehörigen Energieverbrauchszahlen haben nur Gültigkeit für eine bestimmte Anlagengröße und einen bestimmten Zustand der Anlage. Wieweit sich die spezifischen Energieverbrauchswerte mit der Größe der verwendeten Anlage ändern können, soll am klassischen Beispiel des Stromverbrauches von Lichtbogenöfen zur Stahlerschmelzung gezeigt werden. Als ein Maß für die Ofengröße wird das Nennfassungsvermögen des Ofens gewählt, da damit nach den Erfahrungen des Lichtbogen-Ofenbaues lichter Durchmesser des Kessels, Herdfläche, Transformatorleistung, größtzulässige Einschmelzspannung und Einschmelzleistung in bestimmten Zusammenhängen stehen. Nach Angaben von F. HARMS [23] verändert sich bei festem kaltem Einsatz der spezifische Stromverbrauch bezogen auf die Ausbringung in t guter Blöcke von 870 kWh/t bei einer Ofennenngröße von 10 t auf 665 kWh/t bei einer Ofengröße von 70 t, wie es in Abb. 6 gezeigt ist.
Werden für eine bestimmte Fertigung Anlagen eingesetzt, die zu verschiedenen Zeiten erstellt wurden, so weisen diese Anlagen vielfach schon erhebliche Konstruktionsunterschiede auf, die im technischen Fortschritt begründet liegen. Auch

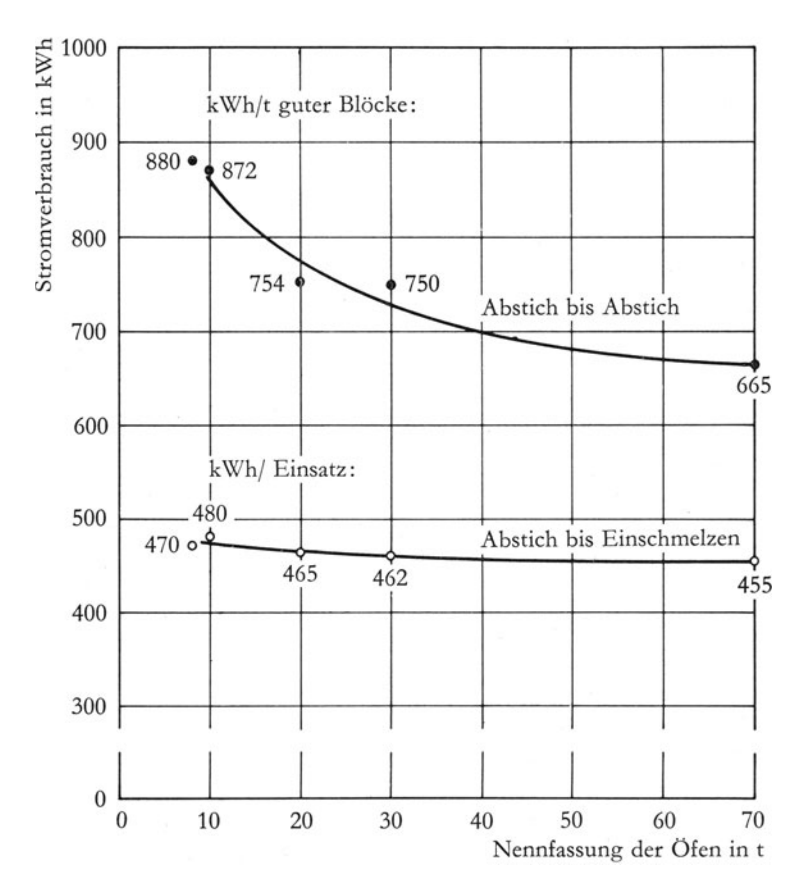


Abb. 6 Stromverbrauch von Lichtbogenöfen nach [23]

hierdurch ergeben sich zumeist nicht unerhebliche Unterschiede in den Energieverbrauchswerten. Als ein Beispiel seien hier die Untersuchungen von H. Weiss [24] herangezogen, der eine Vergleichsbetrachtung über die Wirtschaftlichkeit einer offenen und einer vollkontinuierlichen Halbzeugstraße bringt. Die offene Straße stammt aus dem Baujahr 1905 und ist als normale 850er Triostraße mit drei Gerüsten mit Kanter vor dem ersten Gerüst ausgeführt. Die kontinuierliche Straße besteht aus zwei Staffeln von vier beziehungsweise sechs Horizontalgerüsten und den entsprechenden Stauchgerüsten für Platinenwalzung. Nach den Betriebsaufschreibungen für beide Straßen, die sich auf die reinen Walzstunden beziehen, ist ihre Durchschnittsleistung je Stunde bei der zur Zeit der Untersuchung vorliegenden Betriebsweise in etwa konstant. Der Vergleich wurde für Knüppel von 70 und 50 mm und den Vorblock von 130 mm vkt. durchgeführt. Das Ausbringen der kontinuierlichen Straße liegt bei den Knüppeln um etwa 1%, bei den Vorblöcken um etwa 1,5% höher als an der offenen Straße. Abb. 7 zeigt die Gegenüberstellung der Stromverbrauchszahlen, in denen der Wirkarbeitsbedarf für die Rollgänge, Schlepperanlagen und Krane mit etwa 15–20% des

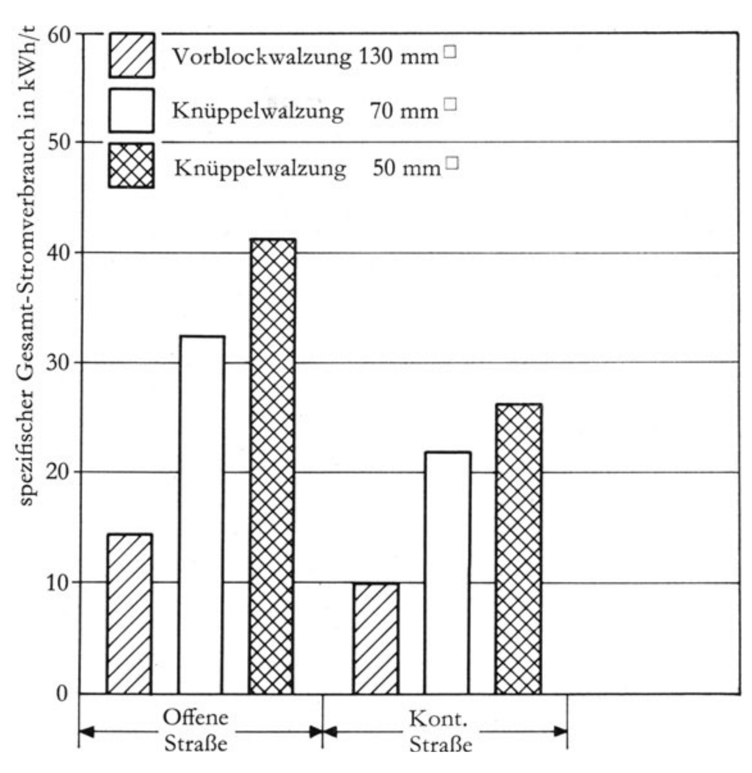


Abb. 7 Vergleich der Stromverbrauchszahlen von zwei Halbzeugstraßen nach [24]

Gesamtstromverbrauches und der Strombedarf für Pumpen und Fördern des Betriebswassers inbegriffen ist.
An einem letzten Beispiel soll noch der Einfluß des Zustandes von Anlagen auf die spezifischen Verbrauchszahlen erwähnt werden. An einem Lichtbogenofen (15 t) wurden die Verluste bestimmt [25], wie sie in Tab. 4 im einzelnen aufgeführt sind.

Tab. 4 Verluste eines 15-t-Lichtbogenofens nach [25]

Verlustart	Neues Gewölbe	Altes Gewölbe
Ausgetriebene Gase	27 kWh	27,5 kWh
Türstrahlung	42 kWh	33 kWh
Kühlwasser	47 kWh	64 kWh
Gewölbestrahlung	114 kWh	200 kWh
Mantelstrahlung	49,5 kWh	71,5 kWh
Bodenstrahlung	32,5 kWh	53,5 kWh
Summe	312,0 kWh	449,5 kWh

Bei einem neuen Gewölbe erhält man insgesamt Verluste von 312 kWh; dem gegenüber stehen erhebliche höhere Verluste von 449,5 kWh bei einem alten Gewölbe vor der notwendigen fälligen Neuzustellung des Ofens. Wie man sieht, ist diese Erhöhung der Verluste im wesentlichen der Gewölbe-, Mantel- und Bodenstrahlung zuzuschreiben.

3.34 Einfluß des Verfahrensablaufes auf die spezifischen Energieverbrauchswerte

Auch zur Herstellung des gleichen Fertigerzeugnisses kann der Verfahrensablauf durch die Wahl der nacheinander geschalteten Fertigungsstufen von Werk zu Werk recht unterschiedlich sein. Beispielsweise kann man bei der Warmverformung zu feinem Stabstahl einmal den üblichen Weg über Vergießung zu Blöcken und Verformung nacheinander auf Block-, Halbzeug- und Fertigstraßen gehen, wie aber auch etwa über Strangguß und ein nachgeschaltetes Planetenwalzwerk. Feinblech wird heute im allgemeinen aus Warmbreitband auf Kaltbandwalzwerken verformt; daneben findet man bei älteren Werken auch noch den Verfahrensablauf über das Auswalzen von Platinen. Die Verformung bis zu einem bestimmten Querschnitt, die auf dem gemischten Hüttenwerk in einer Hitze erfolgen könnte, kann unter Umständen auch Zwischenerwärmungen dann bedingen, wenn aus Gründen von Konzernsverflechtungen Transporte zu Tochterfirmen vorgenommen werden. Durch diese als Beispiel angedeuteten Unterschiede werden die spezifischen Energieverbrauchswerte wesentlich beeinflußt. Wie sich etwa die Wärmebedarfswerte durch die Einsatztemperatur in gichtgasbeheizte Öfen entsprechend mehr oder weniger langen Abkühlzeiten durch Pausen im Verfahrensablauf und Transporte zwischen Werken ändern, zeigt die nachstehende Zusammenstellung in Tab. 5.

Tab. 5 Wärmeverbrauchswerte gichtgasbeheizter Tieföfen nach [25]

Kalter Einsatz	370–420 Mcal/t
Warmer Einsatz (etwa 800° C Oberflächentemperatur)	150–200 Mcal/t
Heißer Einsatz (lediglich Ausgleich der Blockinnentemperatur)	60–100 Mcal/t

3.35 Einfluß des verwendeten Energieträgers auf die spezifischen Energieverbrauchswerte

Während für den Antrieb von Arbeitsmaschinen, die zu ihrer Funktionsfähigkeit als Hilfsmittel mechanische Energie oder Kraft benötigen, sich mit wenigen Ausnahmen die elektrische Energie als Energieträger durchgesetzt hat, stehen an

Tab. 6 Wärmeverbrauchszahl von Stoßöfen nach [25]

Beheizungsart	Spezifischer Verbrauch
Halbgas- oder Kohlenstaubbeheizung	420–550 Mcal/t
Gichtgasbeheizung	360–430 Mcal/t
Koksofengasbeheizung	300–360 Mcal/t
Ölbeheizung	330–400 Mcal/t

wärmetechnischen Anlagen ebenso wie beispielsweise für die Erzeugung des Hochofenwindes verschiedene Energieträger miteinander im Wettbewerb. Der Unterschied in den Energiekosten, die bei der Verwendung verschiedenartiger Energieträger für den gleichen Produktionsprozeß entstehen, liegt nicht nur in den unterschiedlichen Energieträgerpreisen, sondern auch im unterschiedlichen

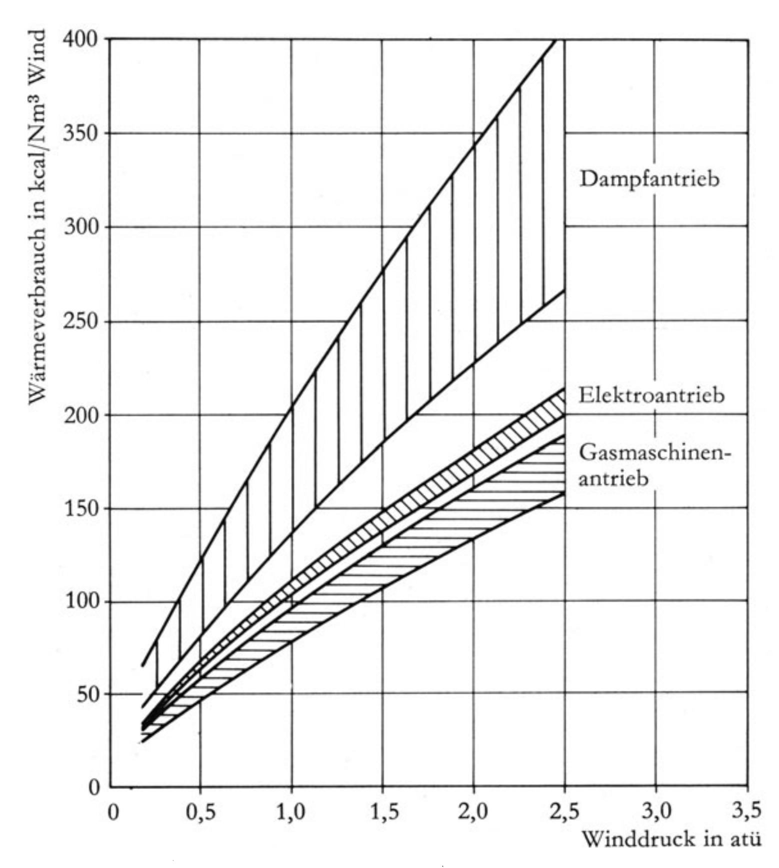


Abb. 8 Wärmeverbrauch von Kolbengebläsen für Hochofen- und Stahlwerksbetrieb in Abhängigkeit vom Winddruck
nach [25]

spezifischen Verbrauch begründet. Hierfür sind u. a. auch die Umwandlungswirkungsgrade der eingesetzten Energieträger in Nutzenergie für den Prozeß verantwortlich. In den Anhaltszahlen für die Wärmewirtschaft in Eisenhüttenwerken [25] findet man beispielsweise die in Tab. 6 wiedergegebenen Daten für den Wärmeverbrauch von Stoßöfen bei durchgehendem Betrieb und Nennleistung.
Wenn man dabei etwa die wesentlich höheren spezifischen Energieverbrauchszahlen bei Kohlenstaubbeheizung mit denen bei Koksofengasbeheizung vergleicht, muß man selbstverständlich berücksichtigen, daß Koksofengas ja bereits eine veredelte Form der Energie darstellt.
Ein klassisches Beispiel für die Verwendung verschiedener Energieträger zum gleichen Produktionszweck stellt die Erzeugung von Hochofenwind dar. Man findet hier, zum Teil im gleichen Hüttenwerk, nebeneinander Gasturbinen, Großgasmaschinen, Dampfturbinen und Elektromotoren als Antriebe für die mit axialer oder radialer Anströmung ausgebildeten Gebläse. Während die Großgasmaschinen mehr historische Bedeutung haben, ist eine eindeutige Entscheidung zugunsten einer der anderen Antriebsarten nicht gefallen und auch nicht zu erwarten, weil hier noch ausschlaggebender als der spezifische Energieverbrauch die in jedem Fall gesicherte Bereitstellung des Hochofenwindes ist. Deshalb bleiben auch die meisten gemischten Hüttenwerke bei mehreren verschiedenen Antriebsarten, um bei Ausfall einer Anlage oder eines Energieträgers in jedem Fall gesichert zu sein. Auch hier hängt selbstverständlich der spezifische Wärmeverbrauch in kcal/Nm^3 Wind von der Art des verwendeten Energieträgers ab, wobei entsprechende Richtzahlen aus Abb. 8 zu entnehmen sind.

4. Bildung von Modellfällen für Verfahrensabläufe und Typisierung der Energieverbrauchswerte in den einzelnen Fertigungsstufen

In den vorigen Abschnitten wurde dargelegt, welche zahlreichen Einflußgrößen sich im Hüttenwerk auf die Energieverbrauchscharakteristik der einzelnen Fertigungsstufen auswirken und in welchen Grenzen sich der spezifische Strom- und Wärmebedarf bei der Herstellung von nach Art und Qualität klar definierten Walzstahlfertigerzeugnissen z. B. eines Stabstahls mit bestimmtem Profil (Rundstahl), vorgegebener Abmessung (z. B. 40 mm ⌀) und festgelegter Stahlqualität (z. B. MU St 3) verändern kann. Wie angedeutet, hat jede der aufgeführten Fertigungsstufen eine bestimmte Energieverbrauchscharakteristik, die entweder auf Grund von Messungen allein oder mit Hilfe statistischer Methoden in Energieverbrauchskennlinien darstellbar ist; eine derartige Kennlinie zeigt die Abhängigkeit des Energieverbrauchs von der Fertigungsmenge und/oder anderen Einflußgrößen (vgl. Abschnitt 3.3). Fehlen die zur Berechnung einer Kennlinie notwendigen Messungen oder Betriebsangaben, so muß für die betreffenden Fertigungsstufen ersatzweise mit festen Verbrauchskennzahlen gerechnet werden, die jedoch immer nur für einen bestimmten Betriebspunkt (Fertigungsmenge, Belastungsgrad) unter Voraussetzung einer bestimmten Anlage und eines bestimmten Energieträgers gelten. Bei den Betriebsaufschreibungen in den Hüttenwerken werden die spezifischen Energieverbrauchszahlen nach Anlagen und Fertigungsstraßen zusammengestellt und wegen des damit verbundenen erheblichen Aufwandes, nicht nach den einzelnen Fertigerzeugnissen aufgeschlüsselt. Die gewonnenen Energieverbrauchswerte sind deshalb Durchschnittswerte, die stark von dem jeweiligen Fertigungsprogramm abhängen. Es wird also in keinem Falle möglich sein, spezifische Energieverbrauchswerte für die gewählten Walzstahl-Fertigerzeugnisse zu finden, die für jedes gemischte Hüttenwerk in gleicher Genauigkeit zutreffen. Um repräsentative Aussagen über den Energieverbrauch eines Fertigungsablaufes und damit über die Energiekosten eines bestimmten Gutes zu erhalten, gibt es neben den kaum realisierbaren voll- und teilstatistischen Erhebungen deshalb nur die Möglichkeit der gedanklichen Konstruktion einer typischen Aufeinanderfolge von Fertigungsstufen mit angenommenen Energieverbrauchscharakteristiken. Ein auf diese Weise konstruierter Fertigungsprozeß kann mit seiner Energieverbrauchscharakteristik dann als repräsentativ für den Wirtschaftszweig gelten, wenn diese Konstruktion mit fundierter Sachkenntnis vorgenommen wird. Man wird also zweckmäßigerweise zu jedem zu untersuchenden Walzstahl-Fertigerzeugnis einen Modellfall für den Verfahrensablauf durch die einzelnen Fertigungsstufen entwickeln. In das Modell sind Mengenfluß der eingesetzten Rohstoffe bis hin zum Fertigerzeugnis und sinnvolle Durchschnittswerte für den spezifischen Wärme- und Strombedarf in der in Abschnitt 2 vorgeschlagenen Weise einzutragen. Die Problematik liegt damit in der Entschei-

dung der Frage, welche Anlagenart und -größe, welcher Belastungsgrad und welcher eingesetzte Energieträger als repräsentativ gelten können.
In jedem Fall erscheint die gedankliche Konstruktion typischer Fertigungs- und Energieverbrauchsprozesse für ausgewählte betriebs- oder branchentypische Produkte als einzig möglicher Weg, hinreichend repräsentative Aussagen über den Energieverbrauch und damit über die Energiekostenbelastung der Produkte auf einzelnen und allen Fertigungsstufen zu machen und aus der Energieintensität und der Energiekostenbelastung dieser betriebs- oder branchentypischen Produkte auf die Wettbewerbsfähigkeit des Betriebes oder des Wirtschaftszweiges zu schließen.

5. Bildung und Zusammenstellung der Modelle für die Herstellung von Walzstahlfertigerzeugnissen

5.1 Sinteranlage und Hochofen

Die Verarbeitung der Rohstoffe im gemischten Hüttenwerk beginnt mit der Roheisenerzeugung im Hochofen. Als Eisenträger werden Eisenerze in klassierter, stückiger Form und, in Sinteranlagen noch weiter aufbereitet, als Hüttensinter sowie Verfahrensrückstände wie Schlacken und Walzzunder, Schrott, Abbrände und Gichtstaub eingesetzt. Die Mengenverhältnisse im Bundesgebiet sind aus Tafel 1 zu entnehmen. Die Erze stammen zum Teil aus inländischer, zum Teil aus ausländischer Förderung. In den letzten Jahren ist der Anteil der Inlandserze immer weiter zurückgegangen; im Bundesdurchschnitt wurden im Jahre 1964 noch 9,8% des Fe-Gehalts am metallischen Einsatz in den Hochofen von inländischen Erzen gestellt. Diese Durchschnittszahl ist durch die Hüttenwerke im Siegerland und Salzgitter wesentlich höher als es dem Ruhrdurchschnitt, der zur Zeit bei 3–4% Inlandserzeinsatz liegen dürfte, entspricht.
Während die Förderung von Auslandserz innerhalb der Bundesrepublik keine Energiekosten bedingt, der Preis von Auslandserz also vom westdeutschen Energiepreisniveau unbeeinflußt ist, bringt die Förderung und Aufbereitung von inländischen Erzen einen zusätzlichen Energieverbrauch. Man braucht also zunächst die Energiebedarfszahlen der inländischen Erzförderung und Aufbereitung und kann daraus über die Menge des eingesetzten Inlanderzes den auf die Tonne Rohstahl umgelegten notwendigen Energieverbrauch der Fertigungsvorstufe »Erzerzeugung und -aufbereitung« bestimmen. Aus den Erhebungen des Statistischen Bundesamtes ergibt sich ein durchschnittlicher spezifischer Wärmeaufwand von 50 Mcal/t Erz und ein spezifischer Stromaufwand von 30 kWh/t Erz. Wegen des geringen Einflusses der Fertigungsstufe: »Inlandserzförderung und -aufbereitung« auf die Energiekosten der Herstellung von Walzstahlfertigerzeugnissen und den geringen Abweichungen in den Erzgruben kann hier eine gesamtstatistische Angabe herangezogen werden.
Inländisches sowie ausländisches Erz müssen von den Erzgruben bzw. von den Erzumschlaghäfen zu den gemischten Hüttenwerken transportiert werden. Rechnet man innerhalb der Bundesrepublik mit 250 km Transportweg, 25 g SKE/bt km für die Dampfreaktion und einem Verhältnis von Bruttowagengewicht zu Ladegewicht von 1,45, so ist ein Wärmeverbrauch von rd. 70 Mcal/t Erz als mittelbarer Energiebedarf der Fertigungsvorstufe »Erztransport« einzusetzen.

Der größte Teil der metallischen Rohstoffe (Bundesdurchschnitt 58,5% im Jahre 1964) wird zur besseren Reduzierbarkeit in Sinteranlagen vorbereitet und als Hüttensinter an den Hochofen gegeben. Metallische Einsatzstoffe für die Sinter-

anlage sind im wesentlichen Auslandserze (64,1), Inlandserze (12,7), Abbrände (11,6), Schlacken und Walzzunder (5,4) und Gichtstaub (6,2). – Die eingeklammerten Zahlenwerte geben den auf den Fe-Inhalt des Gesamteinsatzes bezogenen prozentualen Anteil an. – Während für Auslands- und Inlandserz wiederum mit dem spezifischen Wärmebedarf von 70 Mcal/t als Energiebelastung der Vorstufe »Transport« gearbeitet wird, bringen Abbrände, Schlacken und Walzzunder wie auch Gichtstaub als Abfallstoffe keinen Energiebedarf.

In den Hüttensinteranlagen selbst beträgt der unmittelbare Strombedarf des Sintervorgangs 15–30 kWh/t Hüttensinter, der Bedarf an festen Sinterbrennstoffen 80–110 kg/t Hüttensinter und der Zündgasverbrauch von 35 bis 50 Nm^3 Gichtgas/t Hüttensinter [26], [27], [28]. Die spezifischen Wärmebedarfswerte, die sich daraus errechnen lassen, variieren teilweise erheblich, weil sich je nach dem Feuchtigkeitsgehalt des als Sinterbrennstoff hauptsächlich verwendeten Koksgruses Heizwerte zwischen 5000 kcal/kg und 6100 kcal/kg ergeben; ähnlich schwankt der Heizwert des Gichtgases. Für das Modellbild werden als typische Energieverbrauchszahlen 25 kWh/t Hüttensinter und 490 Mcal/t Hüttensinter angesetzt. Zu beachten ist dabei, daß die Sinterbrennstoffmengen hier noch keinen Verbrauch darstellen, sondern als Einsatz zu betrachten sind, der als Verbrauch erst im Hochofen zur vollen Geltung kommt.

Zur Bildung einer flüssigen Schlacke aus den nichtmetallischen Bestandteilen der Erze, die ohne Schwierigkeiten aus dem Hochofen entfernt werden kann und die den unerwünschten Schwefel aufnehmen soll, werden dem Einsatz in der Sinteranlage und vor allem dem Hochofenmöller Zuschlagstoffe zugegeben, die im wesentlichen aus Kalk bestehen. Für die Fertigungsvorstufe »Kalksteinherstellung« kann mit einer Stromverbrauchszahl von 6,5 kWh/t Kalkstein gerechnet werden; ein Wärmeverbrauch tritt nicht auf. Die mengenmäßige Zusammensetzung des Hochofenmöllers richtet sich nach der vorgesehenen nachgeschalteten Stahlerschmelzungsstufe, wobei im wesentlichen zwischen Thomas-Roheisen und Stahlroheisen, d. h. zwischen Roheisen für die Thomas-Stahl-Erzeugung und die Erzeugung von Stahl im Siemens-Martin-Werk und Elektrostahlwerk unterschieden wird. Dazu kommen noch eine Reihe von Sonderroheisen, die z. B. besonders silizium- oder manganreich sind und im wesentlichen nicht für die Stahlherstellung verwendet werden. Während die Trennungslinie früher wegen der phosphorreichen deutschen Erze scharf verlief, sind die Grenzen zwischen Thomas-Roheisen und Stahleisen durch die zunehmenden Oxygen-Stahlherstellungsverfahren im Fließen, und eine Entwicklung wie in den angelsächsischen Ländern zu einer Roheisenart für die Herstellung von Stahl scheint sich anzubahnen. Da es weiterhin nicht der Sinn dieses Berichtes sein kann, die recht geringfügigen Unterschiede in der Energieverbrauchscharakteristik bei Einsatz der verschiedenen Hochofenmöller zu untersuchen, wird für die Modellbildung zwischen Thomasmöller und Stahleisenmöller nicht unterschieden.

Über die Koksverbrauchszahlen je Tonne Roheisen im Hochofen gibt es eine Vielzahl von Veröffentlichungen [11], [12], [13], [14], [15], [29], [30], [31], wobei meist über die neuesten Fortschritte der Hochofentechnik berichtet wird. Während man durchaus bereits Angaben über Koksverbrauchswerte von 580 kg/t RE

für einzelne Betriebsversuche in der BRD findet, lag der Bundesdurchschnitt im Jahre 1964 mit 691 kg/t RE noch erheblich höher [9]. Auf welche Weise sollen nun die Energieverbrauchswerte für den Modell-Hochofen gewählt werden? Man hat einmal die Möglichkeit als typischen Hochofen einen Durchschnittshochofen zu wählen, der entweder einen mittleren Durchschnittsdurchmesser, errechnet aus der Anzahl der vorhandenen Hochöfen mit deren zugehörigen Durchmessern oder sinnvoller errechnet über die in Hochöfen bestimmten Durchmessers erzeugten Roheisenmengen und entsprechende Durchschnittsverbrauchswerte im Hochofenbetrieb, wie sie sich aus den Statistiken [9] ergeben, einzusetzen, oder aber mit technisch genauer festlegbaren Annahmen einen bestimmten Hochofenbetrieb zu konstruieren. So könnte man beispielsweise als Modellfall einen Hochofen mit 8 m Gestelldurchmesser, in den mit Gichtgas-Turbogebläsen erzeugter Hochofenwind bei einer mittleren Windtemperatur von 1000°C eingeblasen und bei dem das abgezogene Gichtgas mit Elektrofiltern gereinigt wird, zugrunde legen. Die Grenzen der Energieverbrauchswerte kann man bei der Auswahl der typischen Fertigungsanlage mit bestimmten Anlagedaten dadurch abschätzen, indem man sowohl besonders kleine und alte Anlagen als auch sehr moderne, gut ausgelastete, größere Anlagen berücksichtigt – etwa Hochöfen mit 4 m Gestelldurchmesser, sowohl wie die modernsten mit 9 m Durchmesser und höheren Windtemperaturen. – Weiterhin lassen sich durch Auswahl eines als typisch angenommenen Ofens in etwa die Entwicklungstendenzen berücksichtigen. Es dürfte jedoch allgemein für die Aufgabenstellung am zweckmäßigsten sein, mit Werten zu rechnen, die den Bundesdurchschnitt dann repräsentieren, wenn die ältesten und kleinsten Hochöfen etwa des Siegerlandes und z. T. der Saar unberücksichtigt bleiben. Man kann dann zur Zeit mit rd. 650 kg Koks/t RE entsprechend einem Wärmeinhalt von 4550 Mcal/t RE rechnen. Im abgezogenen Gichtgas ist eine bestimmte Wärmemenge gebunden, wobei man als Überschlagswert 3600–3700 Nm³/t Koks als Gichtgasanfall mit einem Heizwert von rd. 850 kcal/Nm³ nehmen kann. Vom Gichtgas wird ein Teil zur Winderhitzung als Hochofeneigenbedarf im Hochofenbetrieb selbst genutzt. Für den verbleibenden Restanteil, der für andere Hüttenwerksbetriebe zur Verfügung steht, ist eine entsprechende Gutschrift (in Mcal/t RE) zu geben; damit erhält man den spezifischen Nettowärmebedarf der Hochofenanlage von rd. 3250 Mcal/t RE. Im Stahleisenkalender 1965 [26] sind als allgemeine Betriebskennzahlen die Daten von Tab. 7 angegeben:

Tab. 7 Allgemeine Hochofen-Betriebszahlen

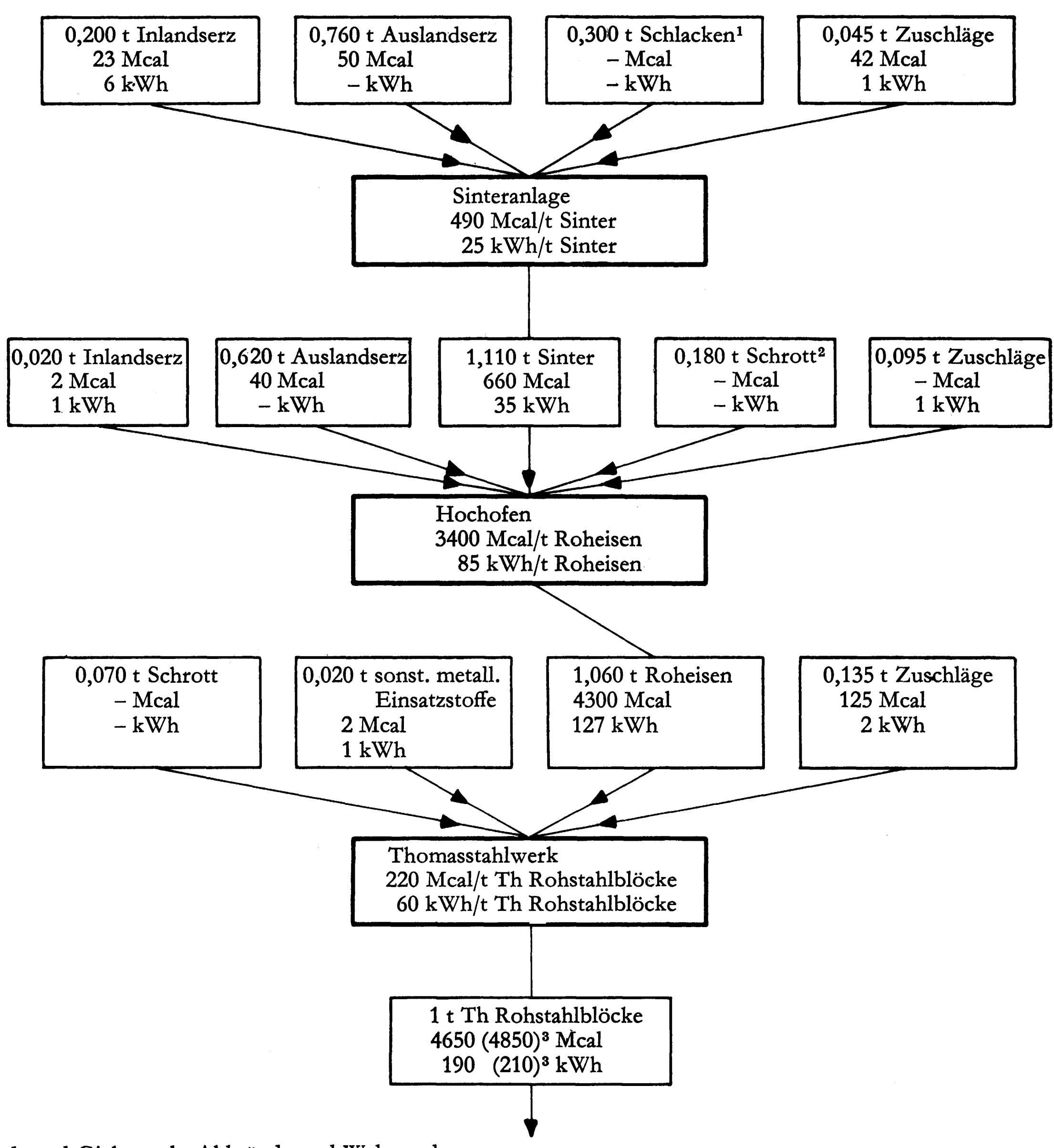
Stromverbrauch		
Hochofen allein	6– 10	kWh/t Koks
Hochofenbetrieb einschließlich Pumpen und Gasreinigung	50– 80	kWh/t Koks
Windmenge ohne Verluste	2500–2900	Nm³/t Koks
Gichtgasanfall	3500–4200	Nm³/t Koks
Druckluft	25– 40	Nm³/t RE

Daraus ergibt sich ein Strombedarf (ohne Winderzeugung) von 35 bis 60 kWh/t RE. Der Energiebedarf für die Winderzeugung richtet sich bei einem vorgegebenen Winddruck (z. B. 1,3 atü) nach dem im Antrieb herangezogenen Energieträger (vgl. Abb. 8). Bei Dampfturbinenantrieb liegt der spezifische Wärmebedarf zwischen 260–300 Mcal/t RE und bei Elektromotorenantrieb bei rd. 60 bis 80 kWh/t RE. Wird eine Winderzeugung zur Hälfte über Dampfturbo- zur anderen Hälfte über Elektroturbogebläse unterstellt, so erhält man als spezifische Verbrauchszahlen für den Hochofen 3400 Mcal/t RE und 85 kWh/t RE.

5.2 Stahlerschmelzungsverfahren

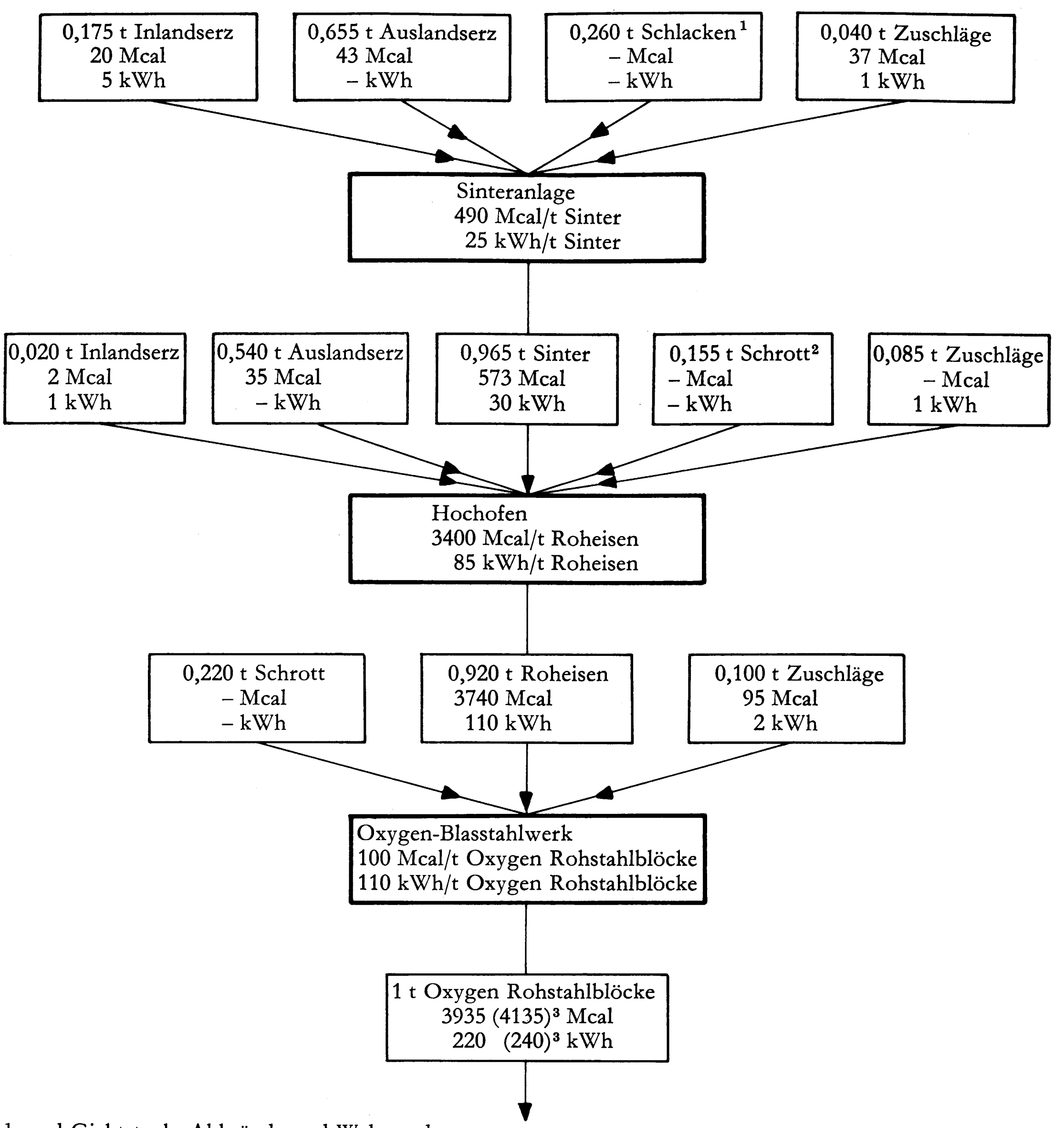
Bei der Umwandlung von Roheisen in Stahl werden ein Teil des Kohlenstoffs und unerwünschte Bestandteile wie Phosphor und Schwefel durch Verbrennung entfernt. Dieser Frischvorgang kann in Konvertern (Blasfrischen) nur mit dem Luftsauerstoff oder mit O_2-angereicherter Luft (Thomasverfahren) oder durch Aufblasen von reinem Sauerstoff (LD-, LDAC-, Kaldoverfahren) durchgeführt werden; dabei wird die notwendige Wärme aus der Verbrennung der Eisenbegleiter gewonnen. Im Gegensatz zum Blasfrischen werden beim Herdfrischen zur Lieferung der Wärme Energieträger benötigt, die entweder Brennstoffe (Siemens-Martin-Verfahren) oder elektrischer Strom (Elektrostahlwerk) sein können.
Die im Thomasstahlwerk eingebrachten Einsatzstoffe je Tonne Rohstahlblöcke (Tafel 6) entsprechen einem Rohblockausbringen von 87% (vgl. auch [32], [33], [34]). Im Stahlwerk selbst entstehen für Sauerstoffanreicherung, Schlackenmühlen und Mischerbetrieb 140 Mcal/t Th-Rohstahlblöcke und 25–30 kWh/t Th-Rohstahlblöcke. Bei rd. 55% der Winderzeugung mit Dampfturbogebläsen und 45% mit Elektrogebläsen können insgesamt einschließlich des Aufwandes für sonstige Hilfsenergieträger 220 Mcal/t Th-Rohstahl und 60 kWh/t Rohstahlblock angesetzt werden. Die Gesamtenergieaufwendungen bis zum Rohstahlblock einer Thomas-Qualität sind aus Tafel 6 zu entnehmen.
In den letzten Jahren sind auf mehreren Hüttenwerken Sauerstoff-Blasstahlwerke errichtet worden. Über die Betriebsergebnisse ist in der Zeitschrift »Stahl und Eisen« bereits verschiedentlich berichtet worden [32], [35], [36], [37]. Das mittlere Rohblockausbringen im Stahlwerk wird mit 88–89% angegeben; die Konverter werden mit Schrottsätzen von 200 bis 250 kg/t RE gefahren; Erze als Kühlmittel werden in nennenswertem Umfang nur in Grubennähe zugegeben; der Kalksatz liegt bei 100–120 kg/t RE. Bei einem Sauerstoffverbrauch von rd. 54 Nm^3/t RE kann mit einem Strombedarf von 110 kWh/t Rohstahlblöcke gerechnet werden. Der Wärmebedarf für die Hilfsbetriebe des Blockstahlwerkes wird durch die Dampferzeugung in der Abhitzekesselanlage in etwa aufgewogen, so daß man hier einem spezifischen Wärmeverbrauch von 100 Mcal/t Rohstahlblöcke ansetzen kann. Der Verfahrensablauf und die Energieverbrauchswerte sind in Tafel 7 dargestellt.
Siemens-Martin-Öfen werden mit einem in sehr breitem Bereich variablen Verhältnis von Schrott- zu Roheisensatz gefahren [38], [39], [40]. Im Bundesdurch-

Tafel 6 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Thomas-Stahlrohblöcken



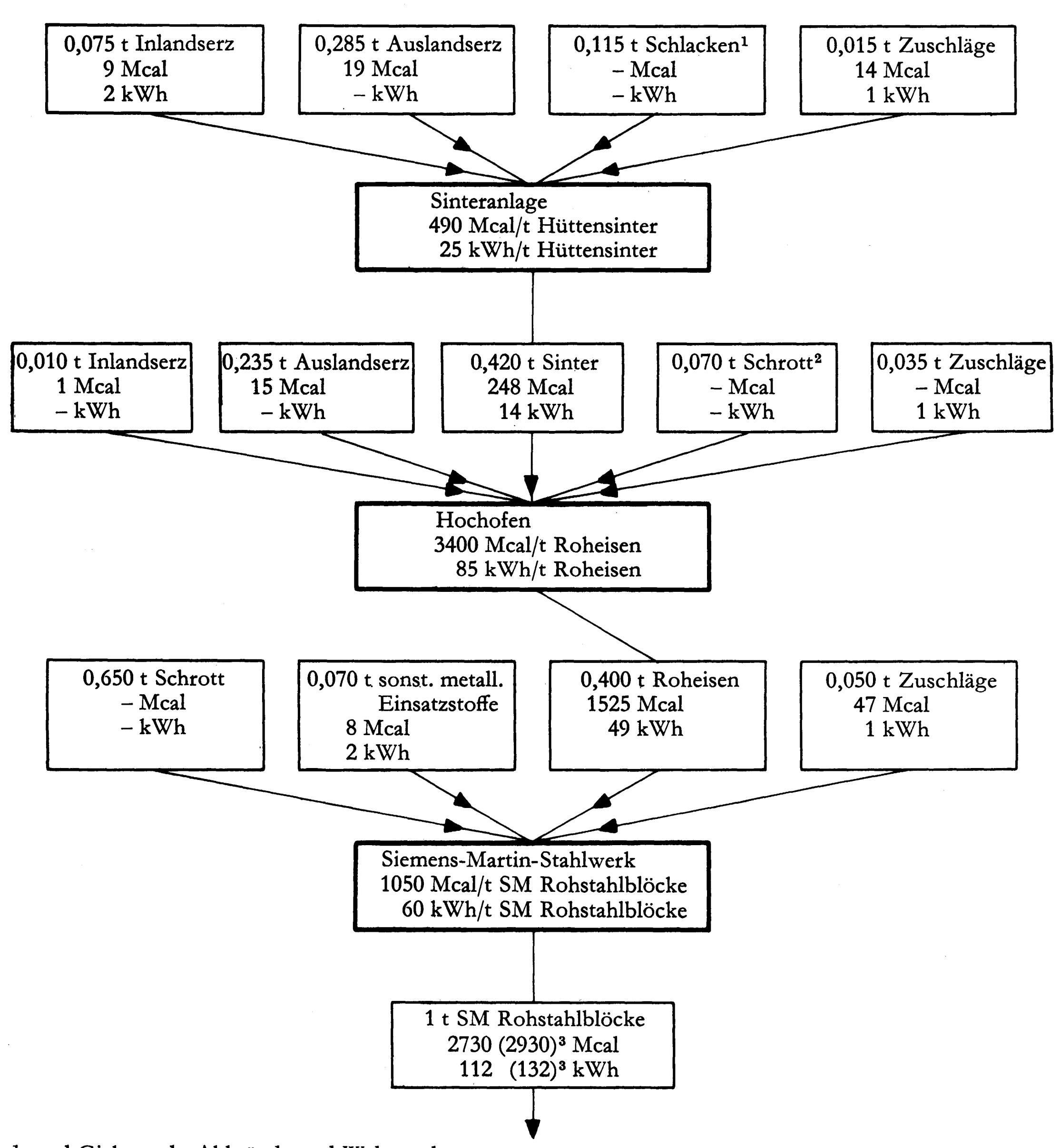
[1] und Gichtstaub, Abbrände und Walzzunder
[2] und Schlacken u. Walzzunder
[3] einschließlich Zuschläge für allg. Werksdienst

Tafel 7 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Oxygen-Rohstahlblöcken



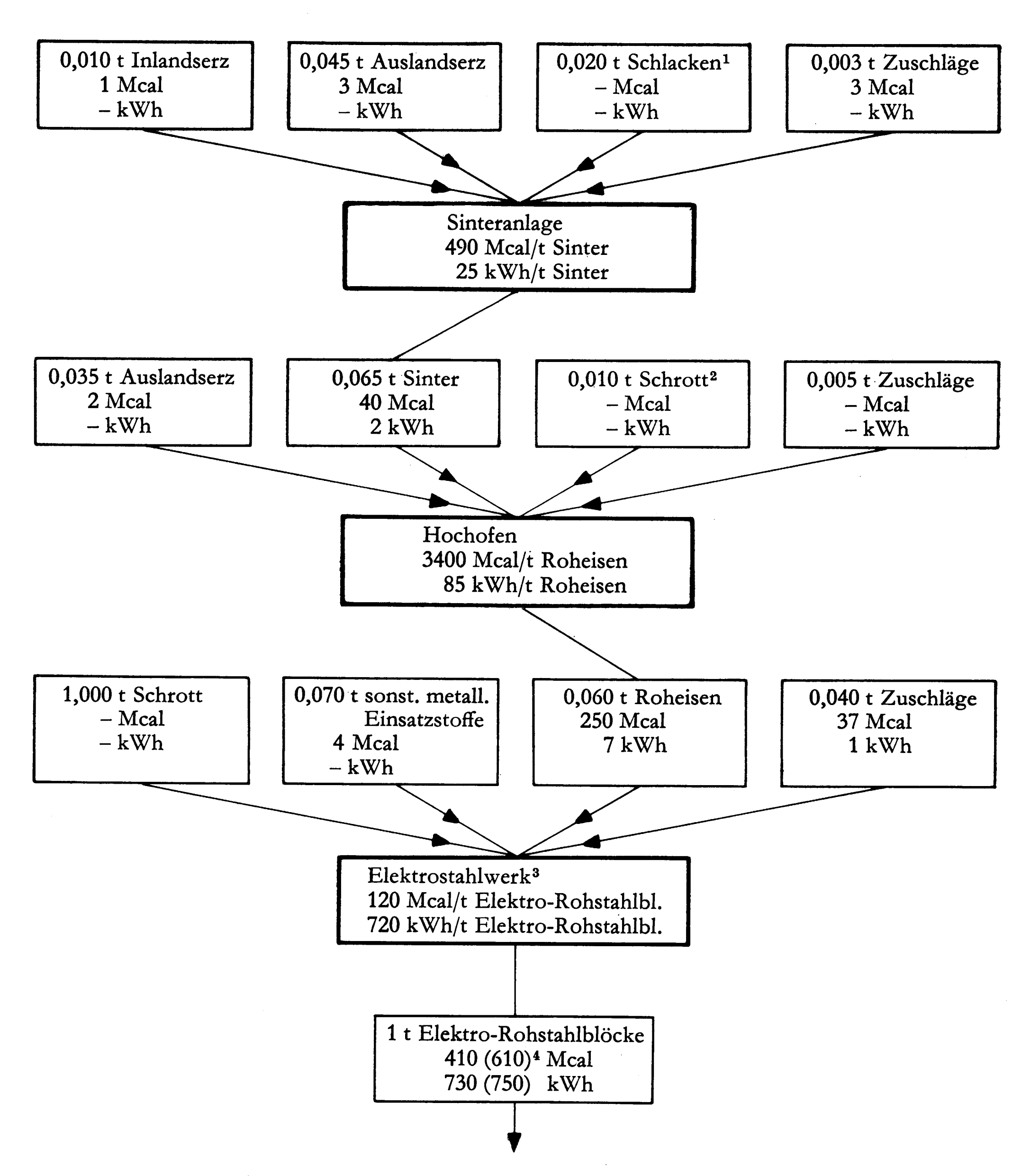
[1] und Gichtstaub, Abbrände und Walzzunder
[2] und Schlacken und Walzzunder
[3] einschließlich Zuschläge für allg. Werksdienst

Tafel 8 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Siemens-Martin-Stahlrohblöcken



[1] und Gichtstaub, Abbrände und Walzzunder
[2] und Schlacken und Walzzunder
[3] einschließlich Zuschläge für allg. Werksdienst

Tafel 9 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Elektro-Rohstahlblöcken



[1] und Gichtstaub, Abbrände und Walzzunder
[2] und Schlacken und Walzzunder
[3] einschließlich des Energiebedarfs zur Herstellung der Elektroden
[4] einschließlich der Zuschläge für allg. Werksdienst

schnitt findet man rd. 640 kg Schrott, 400 kg Roheisen und 70 kg sonstige metallische Einsatzstoffe, was einem Rohblockausbringen von 92% entspricht. Die Energieverbrauchszahlen richten sich einmal nach dem Verhältnis der Einsatzstoffe und danach, mit wieviel Sauerstoff die Verbrennungsluft angereichert ist. Nach Berechnungen von GÖRGEN [41] verringert sich der spezifische Wärmebedarf für den reinen Ofenbetrieb (unter Berücksichtigung der Abhitzeverwertung) von 610 Mcal/t auf 280 Mcal/t und steigt der spezifische Strombedarf um 110 kWh, durch Beschickung eines Sauerstoffschmelzofens statt eines normalen Siemens-Martin-Ofens; dabei sind 134 Nm^3 O_2/t Rohstahl erforderlich. Für den Modellfall (vgl. Tafel 8) wird ein Schmelzbetrieb im normalen Siemens-Martin-Ofen angenommen, wobei ein Einblasen von 10 Nm^3 Sauerstoffzusatz je Tonne Rohstahl während des Einschmelzens unterstellt ist. Die Gesamtenergieaufwendungen zur Herstellung von 1 t Rohstahlblöcken der SM-Qualität sind aus Tafel 8 abzulesen. (Die Verbrauchswerte können für gemischte Hüttenwerke als Richtwerte angesehen werden. Bei einen Stahlwerken mit ausschließlich kaltem Einsatz erhöht sich der Wärmebedarf erheblich, so daß sich im Bundesdurchschnitt 1270 Mcal/t SM-Stahl ergeben.)
Für die Stahlerschmelzung nach dem Elektroverfahren im Lichtbogenofen wurden im Bundesdurchschnitt 1000 kg Schrott, 60 kg Roheisen und 70 kg sonstige metallische Einsatzstoffe zuzüglich 50 kg Kalk je Tonne Rohstahl eingesetzt. Der Anteil der Energieaufwendungen der Rohstahlvorstufen ist wegen des geringen Roheiseneinsatzes fast unerheblich (vgl. Tafel 9). Im Elektrostahlwerk kann bei diesen Einsatzverhältnissen mit einem spezifischen Stromverbrauch von 720 kWh/t Rohstahlblöcken bei einer Ofengröße von 50 t Nennfassung gerechnet werden [23], [42]. Davon dienen rd. 80–120 kWh/t für die Deckung des Energiebedarfes in den Hilfsbetrieben (Gesamtstrom abzüglich Schmelzstromverbrauch). Der in Tafel 9 angegebene Wärmeverbrauch ist durch Stopfentrockner, Trichterfeuer, Pfannenfeuer und Mulden für Schmelzen von Legierungszustätzen bedingt.
Bei den eingesetzten Rohstoffen für die einzelnen Fertigungsverfahren wurden in den typischen Verfahrensablauf nur die wichtigsten Anteile einbezogen; nicht berücksichtigt wurde z. B. das heute nur noch selten verwandte Duplex-Verfahren.
Die Gesamtaufwendungen vom Rohstoff bis zum Rohstahlblock weisen für die hier behandelten Stahlqualitäten erhebliche Unterschiede auf. Man darf nun keineswegs mit Hilfe dieser Zahlen einen Wirtschaftlichkeitsvergleich für die Stahlerschmelzungsverfahren anstellen wollen. Wie man sieht, werden die Unterschiede vor allem durch das Verhältnis von Schrott- zu Roheisensatz hervorgerufen. Schrott als »Abfallprodukt« verlangt keine Energieaufwendungen, während zur Gewinnung von Roheisen aus Erz neben den Fertigungsvorstufen vor allem der erhebliche Energiebedarf des Hochofens notwendig ist. Bei der vorliegenden Aufgabenstellung ist eine Aussage über den Energiekostenanteil am Preis typischer Produkte aus der Eisen schaffenden Industrie zu finden; dabei müssen für die Bildung der Modellfälle die durchschnittlichen für die Bundesrepublik üblichen Verhältnisse der Einsatzstoffe zugrunde gelegt werden. Wäre es das Ziel, eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zwischen verschiedenen Stahl-

erschmelzungsverfahren durchzuführen, so müßten vergleichbare Einsatzverhältnisse angesetzt werden.

5.3 Verformung im Walzwerk

Während bei der Rohstahlerzeugung der Verfahrensablauf, d. h. die Nacheinanderschaltung der Fertigungsstufen, im wesentlichen bei allen Werken gleich ist, ergeben sich bei der Warmverformung in Walzwerken erhebliche Unterschiede. So kann z. B. Grobblech über drei verschiedene Verfahrensabläufe hergestellt werden. Zudem wird vielfach auf einer bestimmten Walzenstraße nicht nur eines der genannten Walzstahlfertigprodukte verarbeitet. Weiterhin spielt der Grad, bis zu welchem verformt wird, eine erhebliche Rolle; so entsteht (vgl. Abb. 9) ein wesent-

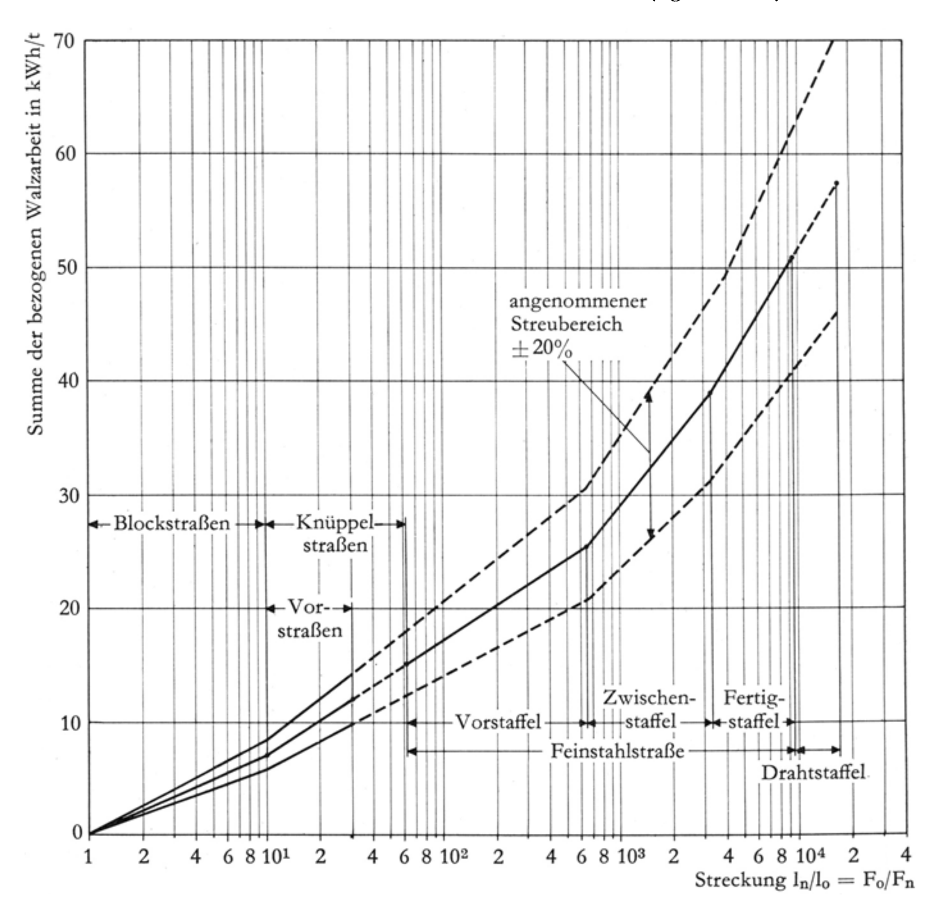


Abb. 9 Summe der reinen Walzarbeiten
beim Walzen von Blöcken, Knüppeln, Stabstahl und Draht
nach [43]

lich höherer Strombedarf dann, wenn statt eines groben Stabstahls feiner Stabstahl zu fertigen ist. In den folgenden Abschnitten ist der Verfahrensablauf von der eingesetzten Rohbramme bis zum Walzstahlfertigerzeugnis unter Hinweis auf die verschiedenen Möglichkeiten angegeben.

5.31 Herstellung von Grobblech

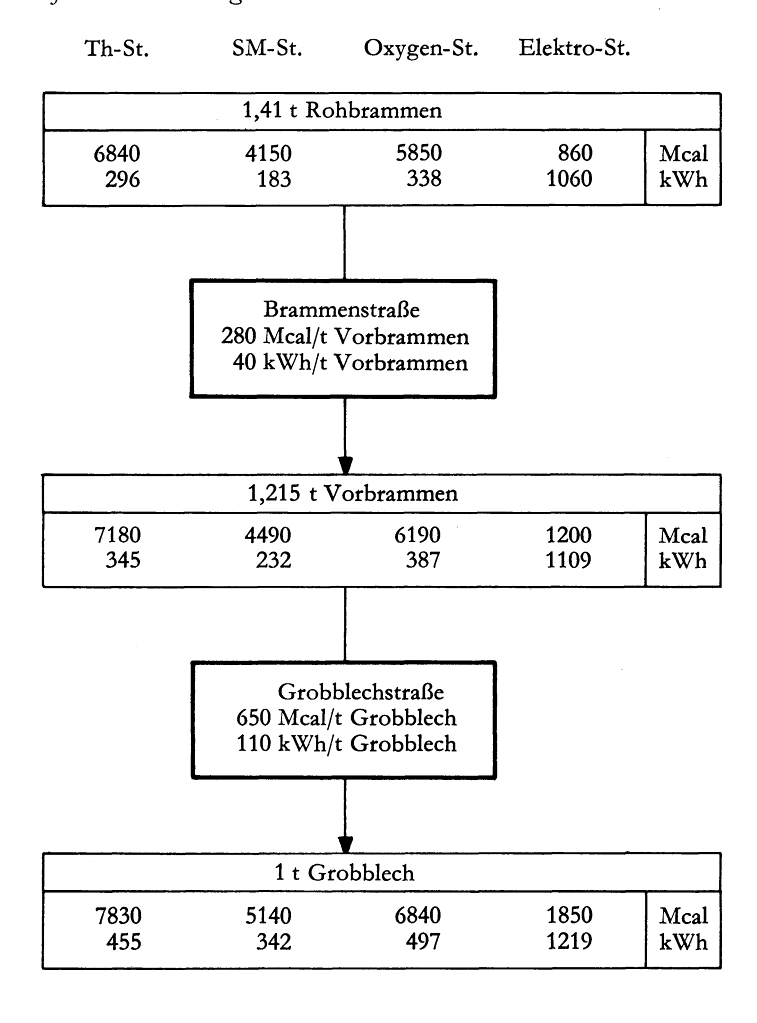
Unter Grobblech versteht man alle Bleche, die eine Dicke über 4,75 mm haben. Grobbleche können als Baustähle nach DIN 1621, als Kesselbleche nach DIN 17155, als nichtrostende Stähle und als platierte Stahlbleche geliefert werden. Grobbleche sind entweder aus Rohbrammen oder aus vorgewalzten Brammen walzbar.

Rohbrammen werden in Tieföfen eingesetzt und dann in einer Grobblechstraße, die meist mit Umkehr-Quartogerüsten – unter Umständen zwei in Tandemanordnung – bestückt ist, in Längs-, Diagonal- und Querstichen in einer Hitze heruntergewalzt. Über die Betriebsweise einer derartigen Grobblechstraße hat P. Diestel [44] berichtet. Die Ausbringung der beschriebenen Straße liegt bei einem Einsatz von 95% Rohbrammen und 5% vorgeblockten Brammen bei 72% als gute Bleche und 5,3% als Stückbleche. Als Energieverbrauchszahlen der Grobblechwalzung lassen sich aus der Beschreibung der Betriebsergebnisse 475 Mcal/t gute Bleche und 75 kWh/t gute Bleche errechnen.

Der zweite gängige Fertigungsablauf ist die Verformung von in Brammenstraßen vorgewalzten Rohbrammen auf Warmbandbreitstraßen zu Warmbreitband, das auf Scherenstraßen auf die gewünschten Blechabmessungen geschnitten und anschließend gerichtet wird. Diesen Verfahrensweg durchläuft jedoch nur ein geringer Teil der erzeugten Grobbleche (im Jahre 1962 waren es 4,8% [45]).

Das heute gebräuchlichste Verfahren zur Grobblechherstellung geht vom Walzen der Rohbrammen auf Brammenstraßen aus; die gewalzten Vorbrammen durchlaufen danach eine Grobblechstraße, die wiederum aus einem, oder unter Umständen zwei Umkehr-Quartogerüsten in Tandemanordnung besteht [46]. Als typischer Verfahrensablauf wird deshalb dieser dritte Weg für die Modellbildung herangezogen (vgl. Tafel 10). Die Rohbrammen werden in Tieföfen vorgewärmt, durchlaufen das Brammen-Walzgerüst und werden je nach Anforderungen anschließend geflämmt. Über den Energiebedarf beim Walzvorgang auf dem Blockgerüst sind Untersuchungsergebnisse veröffentlicht [47], wobei nach dem Grad der Abwalzung 16–25 kWh/t Vorbrammen genannt sind. Einschließlich des spezifischen Strombedarfes der Öfen, Scheren, der Rollgänge und der Flämmerei kann mit 40 kWh/t Vorbrammen gerechnet werden. Als spezifischer Wärmebedarf der Tieföfen werden 280 Mcal/t Vorbramme angesetzt; darin ist berücksichtigt worden, daß in die Tieföfen ein um den Schopfschrott und den Flämmverlust größeres Gewicht eingesetzt werden muß, d. h. der Stoffverlust innerhalb der Brammenstraße wurde wegen der Bezugsgröße »gewalzte und geflämmte Vorbramme« (kurz »Vorbramme«) berücksichtigt. Die Vorbrammen

Tafel 10 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Grobblech



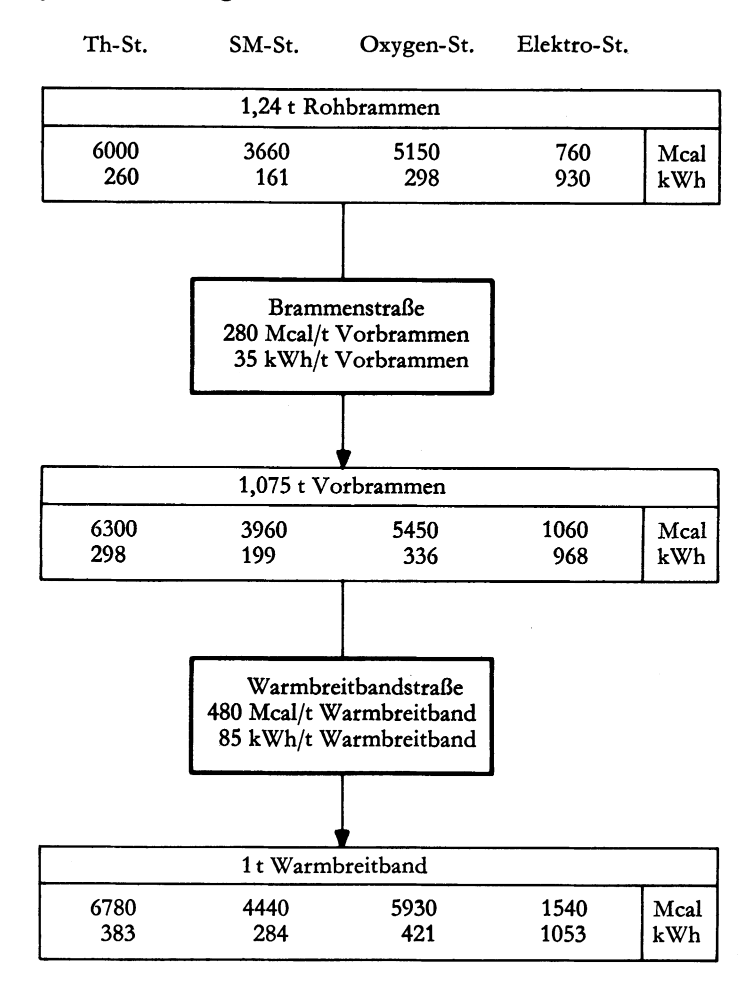
werden in zweiter Hitze auf der Grobblechstraße verformt. Dazu werden sie zunächst in Stoßöfen erwärmt und nach dem eigentlichen Walzen in der Grobblech-Zurichterei versandfertig gemacht. Für den Modellfall ist ein Baustahl nach DIN 1621 zugrunde gelegt; damit entfällt auch das Glühen und Warmrichten, das nur erforderlich ist, wenn besondere Vorschriften, z. B. wie bei Kesselblech gegeben sind. Für den Energiebedarf der Hauptantriebe bei der eigentlichen Grobblechwalzung kann mit 25–30 kWh/t gerechnet werden [47], [48]. In Tafel 10 sind die Strom- und Wärmeverbrauchszahlen der Grobblechstraße einschließlich Grobblechzurichterei und die Gesamtaufwendungen zur Grobblechherstellung eingetragen.

5.32 Herstellung von Warmbreitband

Die Abgrenzung der Breite gegenüber Bandstahl ist normenmäßig noch nicht festgelegt. Im allgemeinen rechnet man mit einem Breitenbereich von 600 mm und darüber; die Dicke liegt zwischen 1,2 und etwa 10 mm. Diese Dicken entsprechen denen von Fein-, Mittel- und dünnen Grobblechen, die aus Breitband geschnitten lieferbar sind. Wenn nicht als Blech, wird Breitband in Bunden geliefert. Dem Verwendungszweck entsprechend werden meist weiche Stahlgüten verarbeitet [46].

Die Verformung erfolgt üblicherweise von der Rohbramme zunächst zur Vorbramme in einer Brammenstraße und dann, nach anschließender Zwischen-

Tafel 11 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Warmbreitband



erwärmung im Stoßofen, in einem Warmbreitbandwalzwerk. Zur Erzeugung kleinerer Produktionsmengen, wie z. B. für die Auswalzung von Edelstahlbändern, Nirosta- und sonstigen Sonderstählen in hitze- und säurebeständigen Qualitäten werden Reversier-Warmband-Walzwerke eingesetzt, die in modernerer Ausführungsform aus der Hauptstraße und einem Quarto-Reversier-Walzgerüst mit je einem Warmhaspel-Ofen auf beiden Seiten des Gerüstes bestehen. Das Band erfährt eine Stichabnahme von ungefähr gleichen Verhältnissen, wie sie beim Einlaufen in die Fertigstraße eines kontinuierlichen Walzwerkes vorliegen [49]. Im allgemeinen werden Anlagen zur Warmbreitbandherstellung heute in kontinuierlicher oder halbkontinuierlicher Bauweise erstellt. Die im Stoßofen gewärmten Vorbrammen durchlaufen zunächst ein Vorgerüst, auf dem neben einer Verformung von etwa 20% gleichzeitig eine Zunderbrechung erfolgt, und danach eine Vor- und eine Fertigstraße und werden dann als Breitband warm gehaspelt. Betriebsergebnisse über Stofffluß und Energieverbrauchszahlen sind von H. Wladika [50] und von E. Spenlé [51] veröffentlicht worden. Die daraus abgeleiteten Werte sind im Modellbild Tafel 11 verwendet.

5.33 Herstellung von Formstahl und Stabstahl

Unter Formstahl versteht man nach DIN 1621 I- und U-Stähle sowie Breitflanschträger mit 80 mm Steghöhe und darüber, Grubenausbaustahl mit 90 mm Steghöhe und darüber, Belagstahl, Grubenstempelstahl, Pokalstahl, Kappenstahl, Rungenstahl sowie alle I- und U-förmigen nicht genormten Profile, soweit sie in den oben genannten Bereich hineingehören. Weiterhin rechnet man noch die Nasenprofile und sonstige Sonderprofile zur Herstellung geschweißter Träger hinzu; es werden Stahlgüten nach DIN 17100 verarbeitet [46].
Stabstahl ist ein Sammelbegriff für eine große Anzahl von Walzstahlerzeugnissen. Hierzu gehören: I- und U-Stähle mit einer Steghöhe unter 80 mm, Grubenausbaustahl, Grubenstahl und Grubenstempelstahl mit einer Steghöhe unter 90 mm. Weiter rechnet man dazu alle Arten von Winkel-, T- und Z-Stählen, Hesepenstahl, Flach-, Rund-, Vierkant-, Sechskant- und Halbrundstahl, ferner den nicht genormten Dreikant-, Achtkant- und Keilstahl sowie Roststabstahl und eine sehr große Anzahl von Spezialprofilen. Nach unten ist Stabstahl gegenüber Draht bei Rund- und Vierkantstählen mit 13 mm^2, bei anderen Formen mit 1,9 mm^2 Querschnitt abgegrenzt [46]. Verwendete Stahlgüten sind allgemeine Baustähle nach DIN 17100, Vergütungsstähle, Einsatzstähle, Stähle für Federn, warmfeste Stähle für Schrauben und Muttern sowie eine große Anzahl nicht genormter Werkzeug- und sonstiger Sonderstähle.
Diese beiden Gruppen werden im folgenden gemeinsam behandelt, weil sie meist auf denselben Walzenstraßen verformt werden. Wegen der großen Breite der lieferbaren Abmessungen ist der Energieverbrauch bis zum Walzstahlfertigerzeugnis sehr unterschiedlich. Die Anzahl der durchlaufenen Gerüste wächst mit der notwendigen Abwalzung, d. h. mit dem geringeren verlangten Querschnitt. Die Verformung bis zu großen Abmessungen erfolgt auf Grobstahl-

straßen, bis zu mittleren auf Mittelstahlstraßen und bis zu den kleinsten Abmessungen auf Feinstahlstraßen. Die Walzprogramme der Grob-, Mittel- und Feinstahlwalzwerke sind in Abb. 10 zusammengestellt. Die Anordnung der Straßen kann sowohl in offener, halbkontinuierlicher wie auch in kontinuierlicher Weise getroffen sein. Während die Verformung von Grobstahl auf der Grobstahlstraße in einer Hitze aus Vorblöcken durchgeführt wird, ist bei Walzung von Feinstahl zwischen die Verformung des Rohblockes auf der Blockstraße und die endgültige Verformung auf der Feinstahlstraße ein Halbzeugwalzwerk geschaltet. Feiner Stabstahl kann in geraden Längen wie auch zu Ringen gehaspelt geliefert werden. Die Verformung von mittlerem Stabstahl kann zwar sowohl direkt in zweiter Hitze nach der Blockstraße auf dem Mittelstahlwalzwerk durchgeführt werden; üblicherweise wird jedoch wie bei der Herstellung von Feinstahl ein Halbzeugwalzwerk dazwischengeschaltet. Der Verfahrensablauf und die Energieverbrauchszahlen für die Herstellung verschiedener Abmessungen von Stabstahl und Formstahl sind in den Tafeln 12–14 zusammengestellt.

Als Strombedarf beim Blockwalzen wurde aus Untersuchungen [52] für den Hauptantrieb des Blockgerüstes 14–17 kWh/t Vorblöcke gefunden. Einschließlich aller Hilfsbetriebe können 45 kWh/t Vorblöcke angesetzt werden. Auf der Halbzeugstraße wird in der ersten Hitze gewalzt, deshalb tritt hier kein Wärmebedarf auf. Je nach der notwendigen Abwalzung werden als spezifische Strombedarfswerte 20 kWh/t Halbzeug bzw. 30 kWh/t Halbzeug angesetzt (vgl. auch [24]). Bei der Grobstahlstraße ist kein Wärmebedarf zu decken (erste Hitze); den spezifischen Strombedarf kann man mit 45 kWh/t beschreiben. Vor Einlauf in die Mittelstahlstraße müssen die Knüppel erneut erwärmt werden; dazu sind 550 Mcal/t Mittelstahl und zur Verformung einschließlich der Zurichterei 85 kWh/t Mittelstahl erforderlich (vgl. auch [53]). Die entsprechenden Zahlen der Feinstahlstraßen sind 550 Mcal/t Feinstahl und 100 kWh/t Feinstahl (vgl. auch [54]). Die daraus folgenden spezifischen Gesamtaufwendungen sind aus den Tafeln 12–14 zu entnehmen.

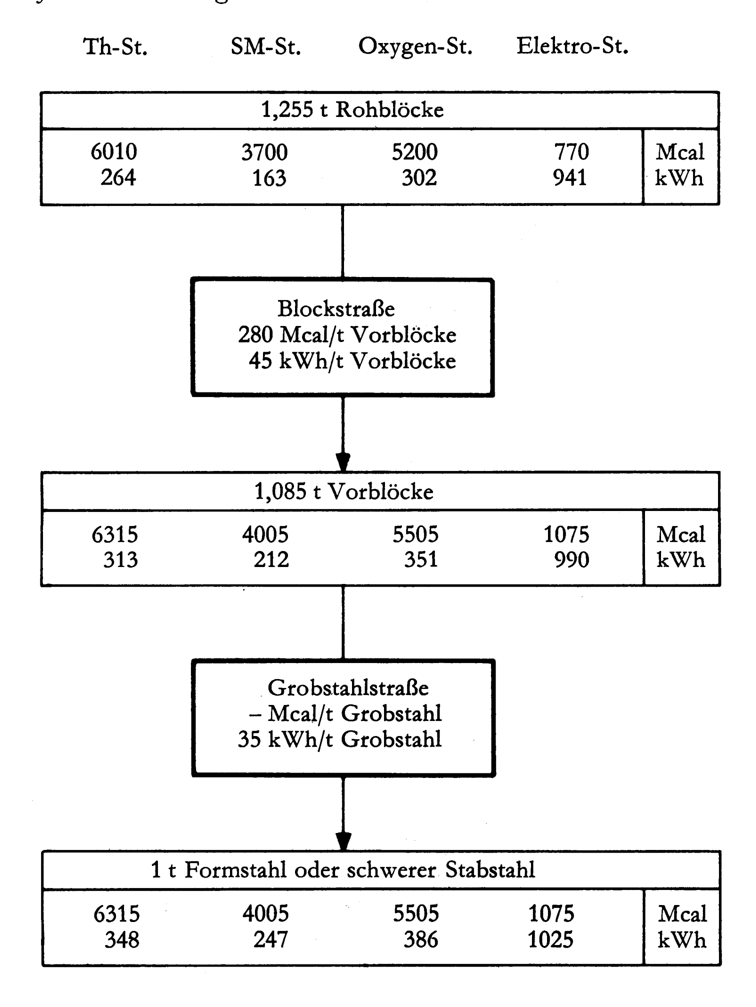
Stabstahl									
grob	von bis	80 mm 300 mm	80 mm 250 mm	80 mm 100 mm	—	—	90 mm 200 mm	100 mm 200 mm	115 mm 380 mm
mittel	von bis	30 mm 120 mm	30 mm 120 mm	30 mm 80 mm	50 mm 150 mm	30 mm 75 mm	40 mm 130 mm	30 mm 140 mm	115 mm 180 mm
fein	von bis	5 mm 60 mm	5 mm 50 mm	5 mm 50 mm	10 × 5 150 × 40 mm	15 mm 50 mm	20 mm 75 mm	30 mm 80 mm	—

Stabstahl								
grob	von bis	160 mm 300 mm	—	110 mm 140 mm	120 mm 200 mm	140 mm 200 mm	150 mm* 600 mm	140 mm* 400 mm
mittel	von bis	60 mm 180 mm	—	35 mm 120 mm	60 mm 160 mm	30 mm 140 mm	80 mm* 180 mm	80 mm* 160 mm
fein	von bis	—	10 mm 500 mm	20 mm 50 mm	—	30 mm 50 mm	—	30 mm 80 mm

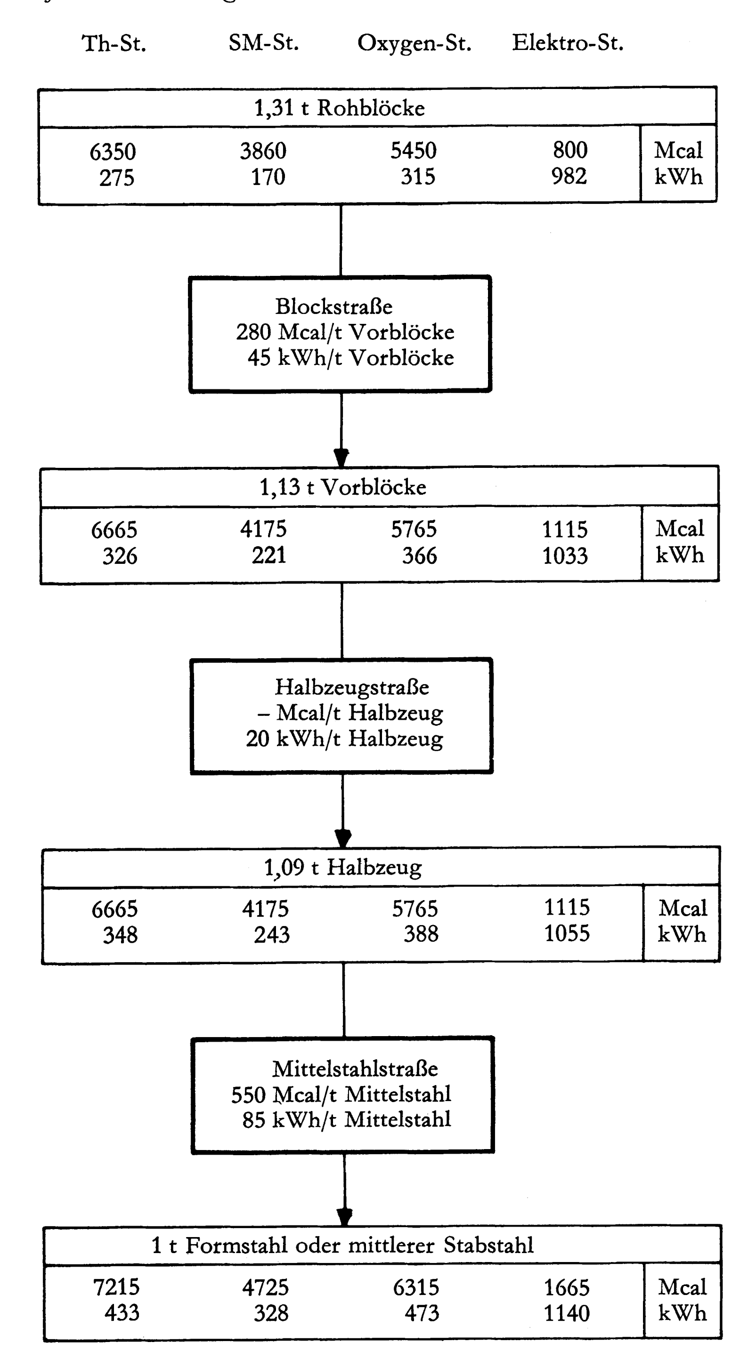
* wird als Formstahl bezeichnet

Abb. 10 Walzprogramm von Grob-, Mittel- und Feinstahlstraßen

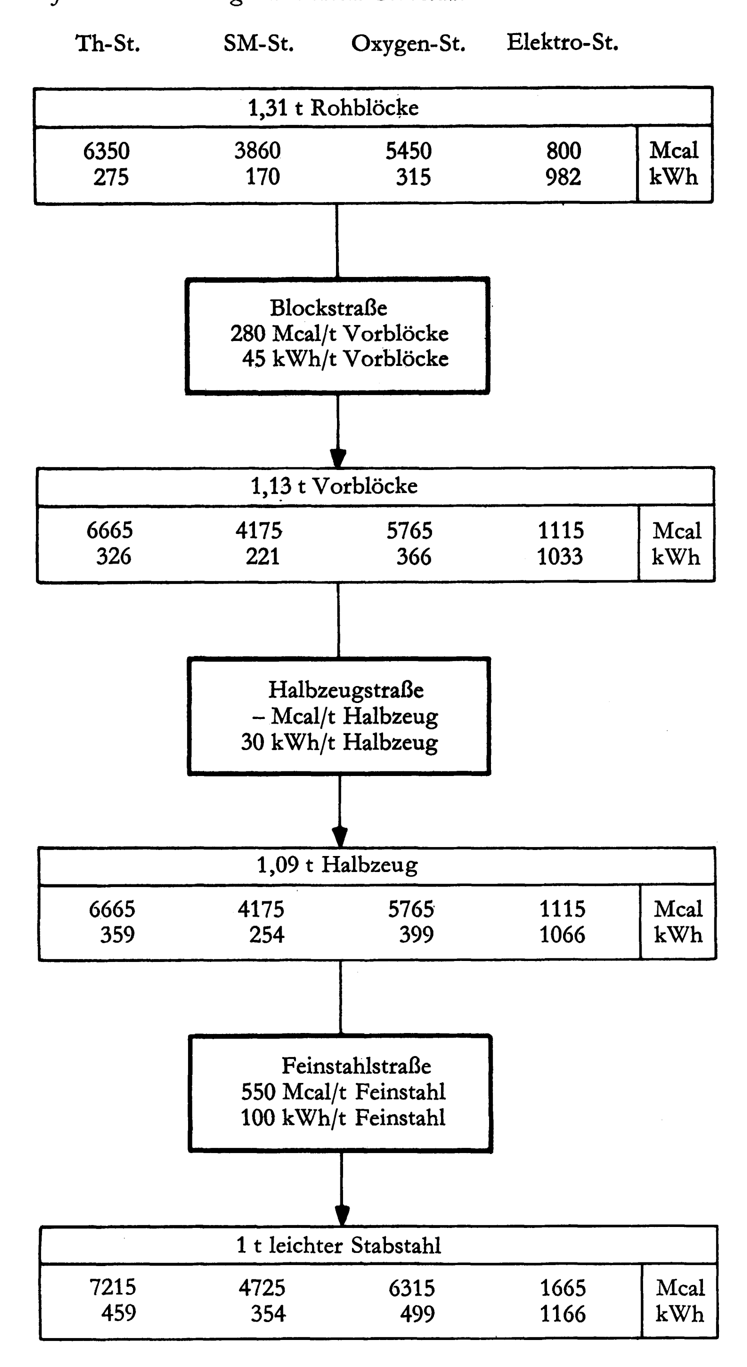
Tafel 12 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Formstahl und schwerem Stabstahl



Tafel 13 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von mittlerem Stabstahl



Tafel 14 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von leichtem Stabstahl



5.34 Herstellung von Walzdraht

Walzdraht ist ein zu Bunden oder Ringen aufgehaspelter Walzstahl in dünnen Abmessungen. Bei Runddraht geht der Abmessungsbereich von 5 bis 13 mm, bei Flachdraht bis zu 1,69 cm^2 als obere Grenze [46]. Die Verformung erfolgt aus Knüppeln auf heute im allgemeinen halbkontinuierlichen oder kontinuierlichen Drahtstraßen, die aus Vor-, Zwischen- und Fertigstaffeln bestehen.
Nach Messungen an einer Drahtstraße [55] wurden (einschließlich aller Neben- und Hilfsantriebe) je nach Abwalzung auf 13 mm ∅ oder 5,5 mm ∅ 78 kWh bzw. 164 kWh je Tonne Walzdraht benötigt. Einschließlich des Strombedarfs für die Wasserversorgung von Öfen und Straße kann mit 140 kWh/t als Durchschnittswert gerechnet werden (vgl. auch [56]). Als spezifischer Wärmeverbrauch ergeben sich – wiederum unter Berücksichtigung des Stoffverlustes beim Durchlaufen der Drahtstraße – 460 Mcal/t Walzdraht. Tafel 15 zeigt das Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Walzdraht.

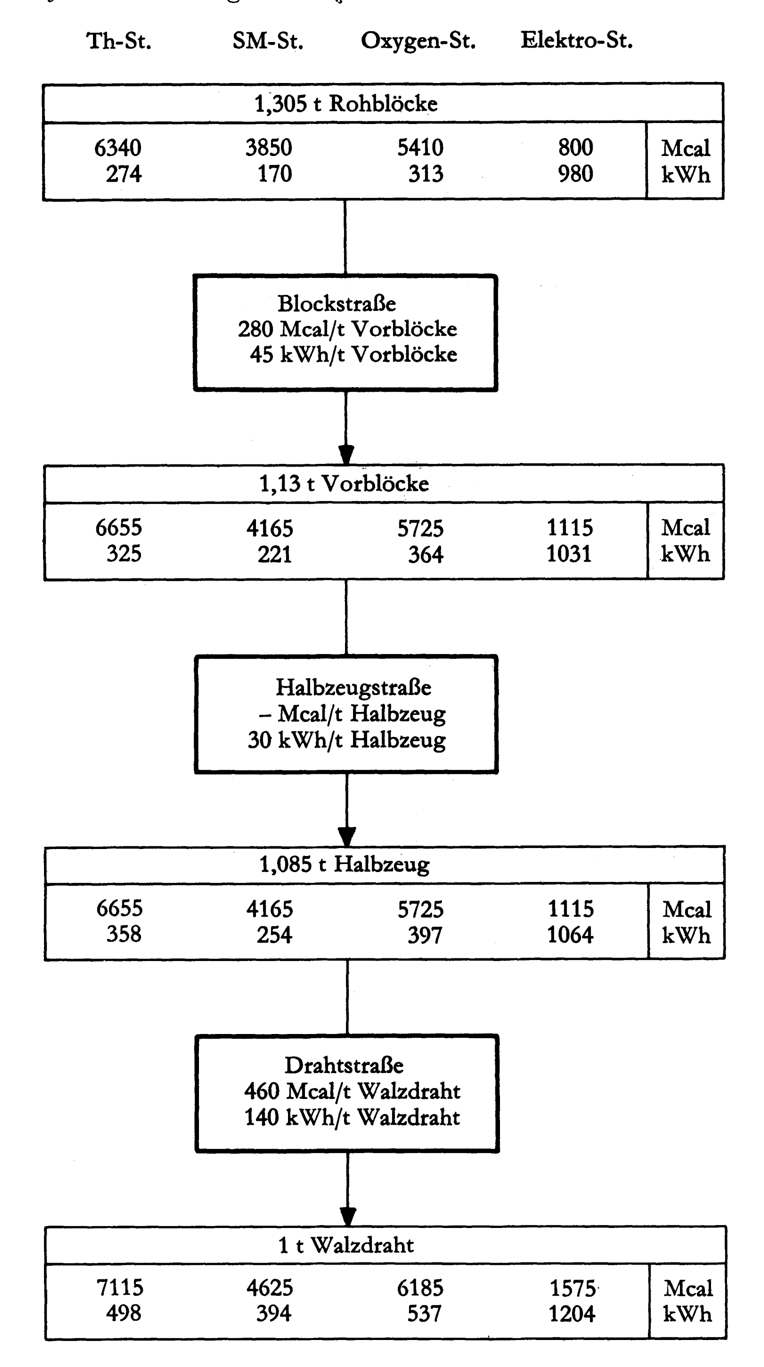
5.35 Herstellung von Bandstahl

Warmgewalzter Bandstahl wird als Mittelband von 1,5 bis 8 mm Dicke in Breiten von etwa 150 mm bis 599 mm und als Schmalband von 0,8 bis 8 mm Dicke in Breiten bis etwa 150 mm in Form von Ringen, Langbunden oder walzgeraden Streifen geliefert [46]. Die Walzung erfolgt aus Platinen oder Vorbrammen auf offenen, halb- oder vollkontinuierlichen Straßen, wobei die letzteren meist aus einem Umkehrgerüst als Vorgerüst oder einer Vorstaffel und einer Fertigstaffel bestehen.
Zur Brammenwalzung sind 50 kWh/t erforderlich, weil im Gegensatz zu den Breitbandstraßen mit kleineren Anstichhöhen in die Bandstraße gegangen wird. Die kalten Vorbrammen werden in Stoßöfen gewärmt; wobei mit 400 Mcal/t Bandstahl gerechnet werden kann. Für die Walzarbeit (einschließlich Hilfsantriebe) auf der Bandstraße sind 60–65 kWh/t Bandstahl anzusetzen [22], [57]; einschließlich des Strombedarfs für die Bereitstellung von Kühl- und Preßwasser kann man mit 85 kWh/t Bandstahl rechnen [57], [58], [59]. Das Modellbild für die Herstellung von Bandstahl ist aus Tafel 16 zu entnehmen.

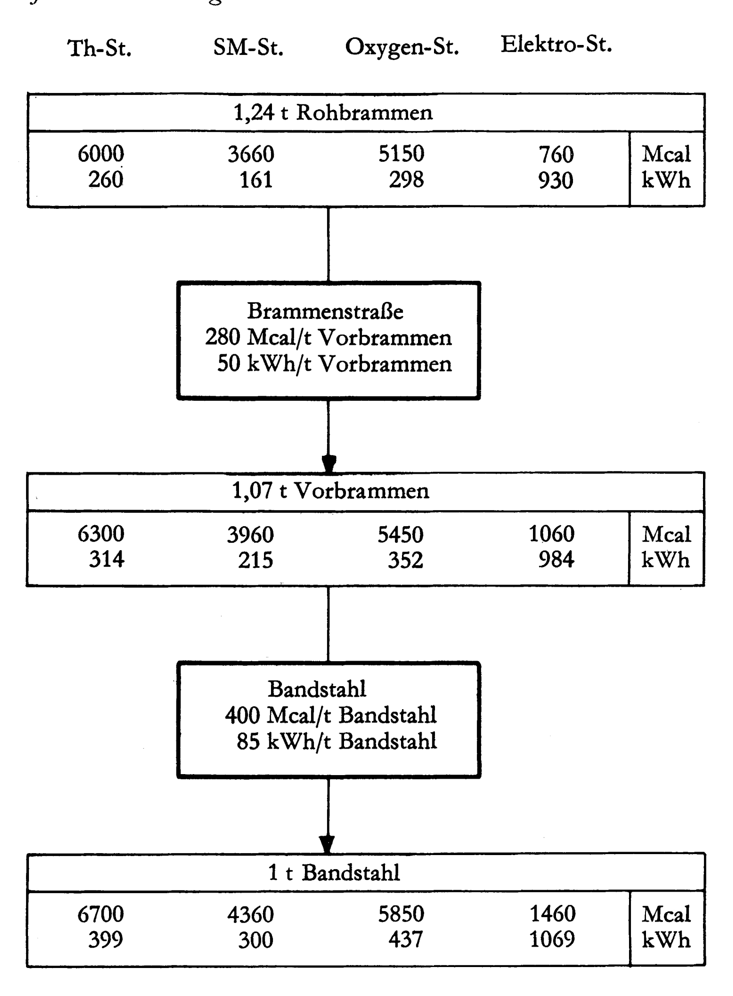
5.36 Herstellung von Feinblech

Während die Kaltverformung im Normalfall von nachgeschalteten Verarbeitern durchgeführt wird, die vom Standpunkt der Statistik bereits in die Gruppe der Ziehereien und Kaltwalzwerke zählen, wird Feinblech heute mehr und mehr auf dem Gelände der gemischten Hüttenwerke selbst erzeugt, gehört also mit in den Bereich der Eisen schaffenden Industrie. Feinblech nach DIN 1541 mit einer Dicke von unter 3 mm wird aus weichem Stahl nach DIN 1623 als Handels-

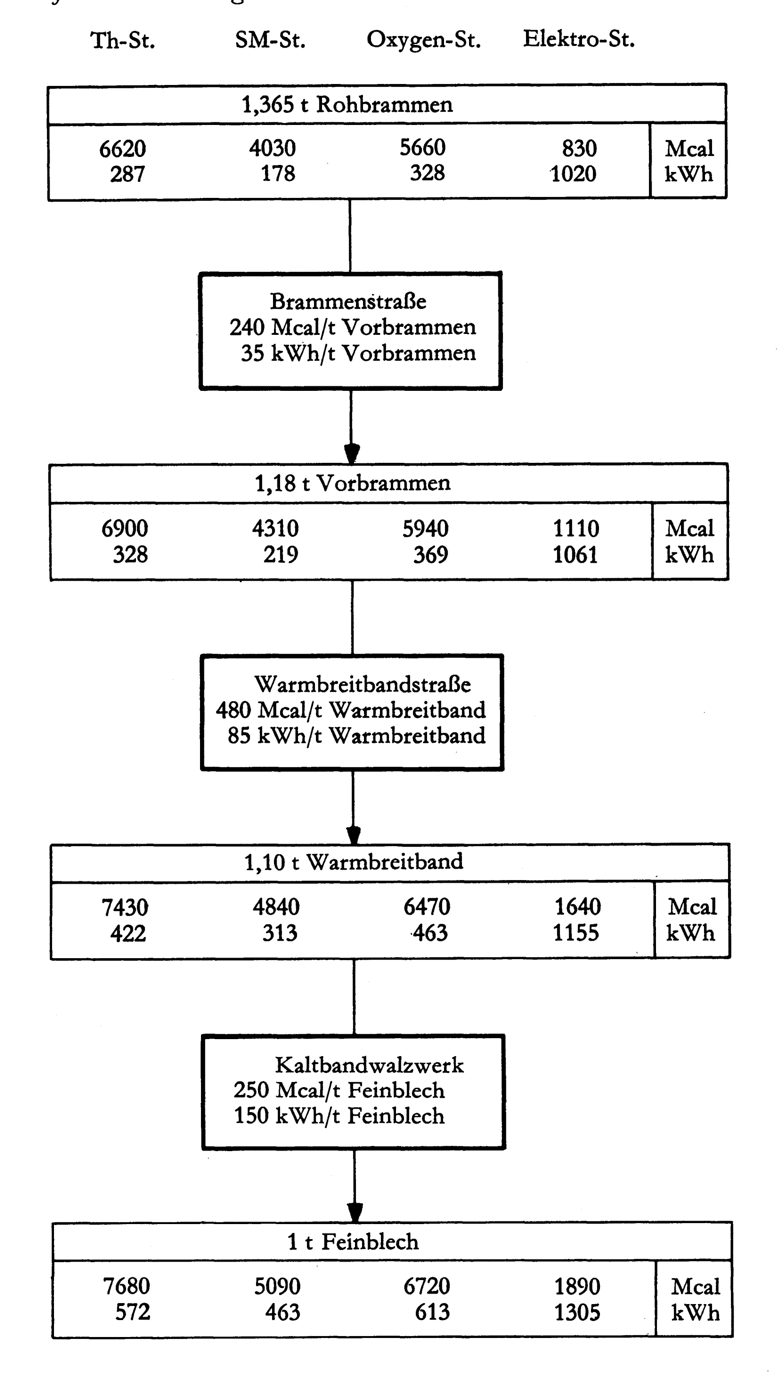
Tafel 15 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Walzdraht



Tafel 16 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Bandstahl



Tafel 17 Modell von Mengenfluß und Energieverbrauch für die Herstellung von Feinblech



feinblech (ohne Güteanforderungen, nicht entzundert) oder als Qualitätsfeinblech (entzundert, mit verschiedener Oberflächenausbildung), aus allgemeinen Baustählen, als Elektroblech und aus nichtrostendem Stahl sowie aus Werkzeugstahl geliefert [46]. Feinblech wurde ursprünglich aus Platinen im Dopplungsverfahren hergestellt. Heute wird im wesentlichen Warmbreitband auf Kaltbandanlagen weiterverformt und dann zu Feinblech zugeschnitten. Für das Kaltbandwalzwerk kann einschließlich der Zurichterei mit einem spezifischen Strombedarf von 150 kWh/t Feinblech und einem spezifischen Wärmebedarf (einschließlich Beizerei und Glüherei) von 250 Mcal/t Feinstahl gerechnet werden. Tafel 17 zeigt das zugehörige Mengenfluß- und Energieverbrauchsbild.

5.4 Übersichtstafel über die spezifischen Energieverbrauchswerte für die Walzstahlfertigerzeugnisse

Aus den Modellbildern kann man die Gesamtenergieaufwendungen – getrennt nach spezifischem Wärme- und Strombedarf – die für die Herstellung der wichtigsten Walzstahlfertigerzeugnisse durch alle Fertigungsstufen auflaufen, entnehmen. Der besseren Übersichtlichkeit wegen sind die Energieverbrauchskennzahlen in Tab. 8 zusammengestellt. Wie man daraus ersehen kann, sind die Unterschiede im Energieaufwand vor allem zwischen den Stahlqualitäten – bei den für die BRD üblichen Chargierungen in den Stahlwerken – recht erheblich. Den höchsten Wärmeverbrauch weisen Rohblöcke und Fertigerzeugnisse aus Thomasstahl auf, weil darin der größte Roheisenanteil und damit die höchsten Energiebelastungen der Vorstufen enthalten sind. Entsprechend vor allem der Verringerung des Roheisensatzes sinken der spezifische Wärmebedarf zum Siemens-Martin-Stahl und zum Elektrostahl hin ab. Die Stromverbrauchskennzahlen zeigen ähnliche Abweichungen, wobei hier jedoch wegen des hohen Stromverbrauches im Elektrostahlwerk Rohblöcke und Fertigerzeugnisse aus Elektrostahl erheblich höhere Werte bedingen (Verhältnis zwischen SM-Rohblöcken und Elektrostahlrohblöcken wie 1:6 bei Wärmeverbrauchszahlen von rd. 5:1). Auch innerhalb gleicher Stahlqualitäten treten zwischen den Energieaufwendungen für verschiedene Fertigerzeugnisse je nach dem Grad der Verformung nennenswerte Unterschiede auf. Während der Wärmeverbrauch im Bereich von 1:1,3 schwankt (Elektrostahl), ändert sich der spezifische Strombedarf im Verhältnis von fast 1:2 (SM-Stahl). Vom Gesamtwärmeaufwand über alle Fertigungsstufen bis zum Walzstahlfertigerzeugnis bringen, mit Ausnahme des Stahlerschmelzens im Lichtbogen, die Fertigungsstufen bis zur Stahlerzeugung den höchsten Anteil (55 bis 75%); für die Gesamtstromaufwendungen sind die Warmformgebungsstufen meist entscheidender (40–75%). Grenzwert für den Wärmebedarf sind 1080 Mcal/t bei Formstahl aus Elektrostahl gegenüber 7830 Mcal/t Grobblech der Thomasqualität, für den Strombedarf 250 kWh/t bei Formstahl der Siemens-Martin-Qualität gegenüber 1310 kWh/t bei Feinblech aus Elektrostahl. Berechnet man den mittleren Aufwand für die Tonne Walzstahl über die Anteile der Walzstahlfertigerzeugnisse

Tab. 8 Zusammenstellung der Energieverbrauchskennzahlen für Walzstahlfertigerzeugnisse

Erzeugnis	Thomasstahl		Siemens-Martin-Stahl		Oxygenstahl		Elektrostahl	
	Mcal/t	kWh/t	Mcal/t	kWh/t	Mcal/t	kWh/t	Mcal/t	kWh/t
Stahlrohblock	4850	210	2950	130	4150	240	610	750
Formstahl	6320	350	4000	250	5500	390	1080	1025
Stabstahl schwer	6320	350	4000	250	5500	390	1080	1025
mittel	7220	435	4730	330	6320	475	1670	1140
fein	7220	460	4730	350	6320	500	1670	1165
Walzdraht	7120	500	4630	395	6190	540	1580	1205
Grobblech	7830	455	5140	340	6840	500	1850	1220
Bandstahl	6700	400	4360	300	5850	440	1460	1070
Warmbreitband	6780	385	4440	285	5930	420	1540	1055
Feinblech	7680	570	5100	465	6720	615	1890	1310

entsprechend dem Verhältnis der Stahlerschmelzungsverfahren, so erhält man 460 kWh/t Walzstahl und 5350 Mcal/t Walzstahl.
Aus den gesamtstatistischen Erhebungen ergeben sich bei einer jährlichen Rohstahlerzeugung von $37{,}4 \cdot 10^6$ t, wovon $33{,}1 \cdot 10^6$ t als Rohblöcke für die Walzstahlerzeugung von $24{,}9 \cdot 10^6$ t eingesetzt wurden, mit einem Gesamtverbrauch der Eisen schaffenden Industrie von $12{,}5 \cdot 10^9$ kWh und $205 \cdot 10^9$ Mcal (abzüglich Verbrauch für Eisen-, Stahl- und Tempergießereien und Stromeigenverbrauch von Kessel- und Maschinenhaus bei Eigenkraftanlagen) Werte von 455 kWh/t Walzstahl und 6540 Mcal/t Walzstahl. Berücksichtigt wurde hierbei einmal, daß im Gesamtenergieverbrauch der Eisen schaffenden Industrie auch der Aufwand zur Herstellung von Stahl-Halbzeug zum Versand, von Rohblöcken für Freiformschmiedestücke und von Flüssigstahl für Stahlguß enthalten ist. Weiterhin wurde berücksichtigt, daß zur Erzeugung von $5{,}4 \cdot 10^9$ kWh in Eigenkraftanlagen rd. $21 \cdot 10^9$ Mcal vom Wärmeträgereinsatz gebraucht und damit nicht als spezifischer Wärmebedarf wirksam wurden.
Die durchschnittliche spezifische Stromverbrauchszahl ist nach den Angaben aus der Statistik mit 455 kWh/t Walzstahl um 5 kWh/t Walzstahl kleiner als nach den Untersuchungen, weil der Verbrauch der Vorstufe »Erzgewinnung, -aufbereitung und -transport« nicht zum Bereich der Eisen schaffenden Industrie gezählt wird.
Für den geringer errechneten spezifischen Wärmebedarf je Tonne Walzstahl ist einmal der um 41 kg Koks/t RE gegenüber dem Bundesdurchschnitt von 691 kg Koks/t RE angesetzte Hochofenkoksverbrauch verantwortlich. Weiterhin enthalten die aus dem Gesamtwärmeträgereinsatz in die Eisen schaffende Industrie errechneten spezifischen Wärmeverbrauchszahlen den Verbrauch für Nachbehandlungen wie Glühen, Vergüten bei höheren Qualitäten. Bei geglühtem Grobblech z. B. kommen gegenüber der Grundqualität, wie sie zu den Zahlen des vorliegenden Berichtes gehören, noch 500 Mcal/t Grobblech, entsprechend mehr als 10% bei Blechen aus SM-Stahl hinzu.
Die Ursache für die restliche verbleibende Abweichung ist vor allem in Ungenauigkeiten in der statistischen Erfassung von nichtleitungsgebundenen Energieträgern, den Verlusten von Koksgas und Gichtgas (165 Mcal/t RSt) und dem Veredelungswirkungsgrad von Primärenergie in den Wärmeträger Dampf zu suchen. Weiterhin sind die spezifischen Wärmeverbrauchszahlen der Siemens-Martin-Öfen und der Walzwerksöfen nach den Verhältnissen der gemischten Hüttenwerke gebildet. Bei ausschließlich kaltem Einsatz wie in reinen Stahl- bzw. Walzwerksbetrieben ergeben sich höhere spezifische Verbrauchswerte (Bundesdurchschnitt an SM-Öfen im Jahre 1964 lag bei 1140 Mcal/t statt 1050 Mcal/t).

6. Zusammenstellung der Energieträgerpreise

Zum Preis eines Energieträgers am Ort des Energieverbrauches tragen, gleichgültig ob es sich um leitungsgebundene oder nichtleitungsgebundene Energieträger handelt, neben den Bezugspreisen innerbetriebliche Verteilungskosten bei. Bei Kohle und Koks gehören hierzu die Bunkerungskosten, bei Leicht- und Schweröl die Bunkerungs- und Pumpkosten, bei Gas und Strom als leitungsgebundenen Energieträgern erhöht sich der Bezugspreis erheblich durch die Kosten für die innerbetrieblichen Verteilungsanlagen. Für eine betriebswirtschaftliche Bestimmung des Energiekostenanteils an den Verarbeitungskosten müssen die Verteilungskosten in voller Höhe durch Zuschläge auf die Energieträgerbezugspreise berücksichtigt werden; denn die Verteilungskosten werden ausschließlich durch den Einsatz des Energieträgers hervorgerufen. Beim Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen verschiedenen Energieträgern können unter Umständen die Verteilungszuschläge den Ausschlag geben. Für die Untersuchung des Einflusses der Energieträgerpreise auf die Wettbewerbsfähigkeit eines Industriebetriebes oder einer Industriegruppe spielen die Verteilungskosten dann keine Rolle, wenn zu prüfen ist, wie sich eine Änderung der Energieträgerpreise – und gemeint sind hiermit die Energieträgerbezugspreise – auswirkt; denn bei zweckmäßiger Auslegung der Bunkerungs- und Verteilungsanlagen bleiben die Verteilungszuschläge als feste Größe unveränderlich. Nicht angeschnitten wird hiermit das Substitutionsproblem der Energieträger, da entsprechend den Energieverbrauchskennzahlen »spezifischer Wärmebedarf« und »spezifischer Strombedarf« mit mittleren Mischpreisen für die eingesetzten Energieträger zu rechnen ist. Eine durchgeführte Substitution zwischen z. B. verschiedenen Wärmeträgern wirkt sich mit den dadurch veränderten Mengenverhältnissen jedoch über den entstehenden Mischpreis aus.

6.1 Bestimmung des Mischpreises für die Wärmeeinheit

Zunächst soll aus den Preisen der in den Bilanzkreis des Hüttenwerkes eingesetzten Wärmeträger Kohle, Koks, Leicht- und Schweröl, Koksofengas und Erdgas der zugehörige Mischpreis für die Wärmeeinheit ermittelt werden. Dazu wird neben den Bezugspreisen eine Angabe über die Mengenverhältnisse der bezogenen Energieträger gebraucht. Ein Modellbild für die Wärmebilanz eines gemischten Hüttenwerkes (Abb. 11), die in Anlehnung an die in Tafel 1 aufgeführten Verbrauchsmengen zur Charakterisierung des Bundesdurchschnitts erstellt wurde, kann zum Ausgangspunkt genommen werden. Gichtgaspreise treten deshalb nicht

in Erscheinung, weil Gichtgas als Abfallprodukt des Hochofenprozesses im Hüttenwerk selbst entsteht. Man könnte allenfalls die Reinigungskosten für das Gichtgas entsprechend dem nicht zur Reduktion des Erzes ausgenutzten Wärmeinhalt des Kokses als eine Art Verteilungszuschlag auf den Koksanteil legen, dessen Wärmeäquivalent dem anfallenden Gichtgas entspricht. Andererseits wird man noch sinnvoller den Hochofen als Kostenstelle mit den Reinigungskosten belasten, weil die Umwandlung von Koks in Gichtgas ein zwangsläufiger mit der Erzreduzierung gekoppelter, unvermeidbarer Vorgang ist.

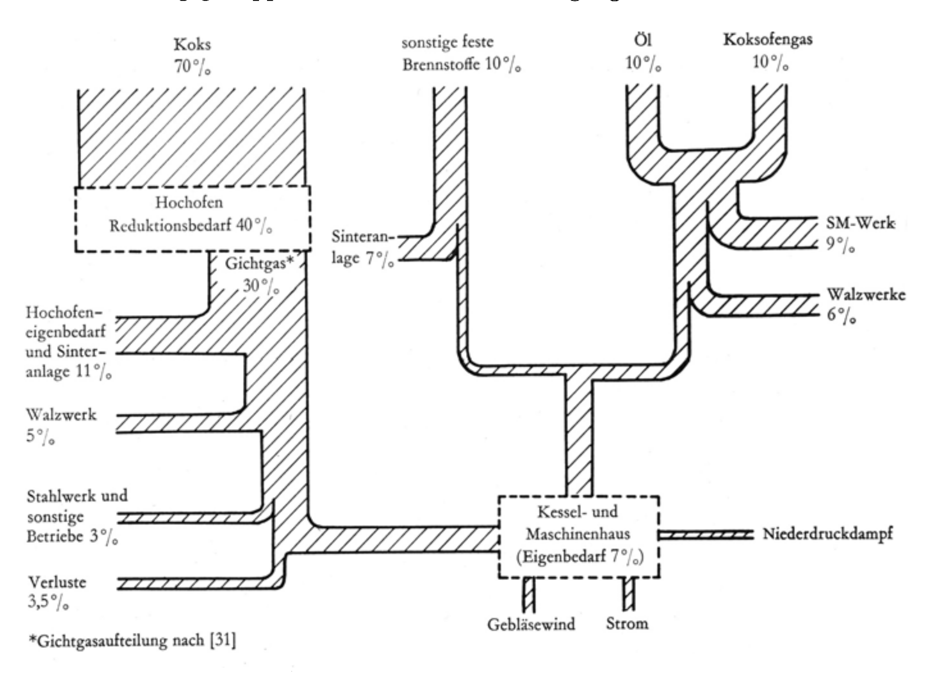


Abb. 11 Modell für die Wärmebilanz eines gemischten Hüttenwerkes

In Tab. 9 sind die Brennstoffbezugspreise, die Verteilungszuschläge, die Anteile der einzelnen Brennstoffe an der ins Hüttenwerk eingesetzten Wärme und die Wärmepreise eingetragen. Als Unterlagen zur Aufstellung dienten die Angaben der Kohlenverkaufsgesellschaften [60] und der Stahleisen-Kalender [26]. Der Wärmebedarf, der durch Dampf als Wärmeträger gedeckt wird, ist (vgl. Modell-Wärmebilanz) bereits im Energieträgereinsatz der »Hüttenwerks-Primärenergie« mitenthalten. Für die Bestimmung des mittleren Wärme-Bezugspreises spielt er keine Rolle; für den Wärmepreis am Ort des Verbrauchs sind Umwandlungswirkungsgrad und Umwandlungskosten im hütteneigenen Kesselhaus ähnlich wie ein Verteilungszuschlag mitzuberücksichtigen. Mit den Mengenverhältnissen für die eingesetzten Brennstoffe entsprechend dem Wärmebilanzmodell ergibt sich ein Durchschnittsbezugspreis von 1,30 DPf/Mcal; einschließlich der Verteilungszuschläge erhält man 1,44 DPf/Mcal.

Tab. 9 Zusammenstellung der Wärmepreise der ins Hüttenwerk eingebrachten Brennstoffe [26], [60]

Brennstoff	Bezugspreise		Verteilungszuschläge		Spezifischer Wärme-bezugspreis	Spezifischer Wärme-bruttopreis	Anteil am Gesamt-energieeinsatz
	DM/Einheit	Einheit	DM/Einheit	Einheit	Dpf/Mcal	Dpf/Mcal	in %
Koks	89,60	t	6–10	t	1,28	1,40	70
Sinterbrennstoffe	61,00	t	4– 6	t	1,02	1,10	5
Sonstige feste Brennstoffe	73,50	t	6–10	t	1,05	1,17	5
Heizöl S	77,95	t	9–26	t	0,81	1,04	10
Koksofengas	85–105	10^3 Nm^3	7–10	10^3 Nm^3	2,20	2,40	10
Durchschnitt					1,30	1,44	

6.2 Bestimmung der Strompreise

Wie schon bei den Preisen für die Wärmeeinheit ist wieder zwischen dem Bezugs- (bzw. Erzeugungs-)preis und dem Strompreis zu unterscheiden, der am Ort des Verbrauches zu berechnen ist. Der Strombedarf der gemischten Hüttenwerke wird zum überwiegenden Anteil (im Jahre 1964 nahezu 70% [9]) aus Fremdstrombezug, zum kleineren Teile durch Eigenstromanlagen gedeckt.
Die Durchschnittspreise für den Fremdstrombezug werden nach Sonderverträgen zwischen Versorgungsunternehmen und Abnehmer vereinbart. In allen Strombezugsverträgen ist ein sogenannter Arbeitspreis für die bezogene Wirkarbeitsmenge und ein zusätzlich zu zahlender Betrag für die Leistungsvorhaltung, entweder über einen Leistungspreis und/oder einen Benutzungsdauerrabatt oder eine ähnliche Regelung vorgesehen. Eine verbindliche Angabe über die Bezugspreise ist nicht möglich, einmal weil der Inhalt der Sonderverträge nicht bekanntgegeben wird, zum anderen weil sich die Durchschnittspreise auch bei gleichartigen Verträgen nach den Abnahmeverhältnissen richten.
Der Strompreis für die Kilowattstunde in Eigenkraftanlagen richtet sich neben Art und Preis der verwendeten Brennstoffe, Anlagengröße, -alter und -zustand, Druck und Temperatur des Frischdampfes vor allem danach, ob der Strom in Kondensations- oder Gegendruckdampfturbinen erzeugt wird. In jedem Falle jedoch kommen zu den Brennstoffkosten zusätzliche Kosten, wie Kapital-, Wartungs-, Lohnkosten u. a., die auf die Stromerzeugung umgelegt werden müssen.
Man hat wiederum mit einem Mischpreis hier für die vom Versorgungsunternehmen bezogene kWh (frei Einspeisung) und die in Eigenkraftanlagen erzeugte kWh (frei Generatorklemme) zu rechnen; dieser Preis soll mit Strom-Bezugspreis bezeichnet werden. Zum Preis für den Strom am Ort des Verbrauches tragen die erheblichen Verteilungskosten für die elektrische Energie bei, die einen Verteilungszuschlag von 1,8 bis 2,5 DPf/kWh bedingen. Zur Berechnung des Energiekostenanteils wurde ein Nomogramm entworfen, das eine leichte Ablesung bei veränderlichem Strompreis gestattet. Alle Zahlenangaben in Tab. 12 wurden mit einem Strombezugspreis von 5,5 DPf/kWh als Beispiel ermittelt.

7. Zusammenstellung der Listenpreise für Walzstahlfertigerzeugnisse

Für betriebswirtschaftliche Vergleiche der Wettbewerbssituation wäre es am sinnvollsten zu prüfen, mit welchem Anteil die Energiekosten an den Verarbeitungskosten beteiligt sind, wobei sowohl Verarbeitungskosten wie Energiekosten für die aufeinanderfolgenden Fertigungsverfahren zu kumulieren wären. Die Rohstoffkosten wären damit aus dem Vergleich ausgeschaltet. Für die Untersuchung des Energiekosteneinflusses auf die Wettbewerbsfähigkeit im volkswirtschaftlichen Bereich müssen auch die Stoffkosten miteinbezogen werden, um so mehr als eine gegenseitige Beziehung zwischen billigeren Rohstoffen (Fe-ärmere Erze) mit dafür höheren Energieaufwendungen (Erzaufbereitung) und umgekehrt besteht. Als Bezugsgröße wäre damit die kumulierte Summe aus Rohstoff- und Verarbeitungskosten anzusetzen. Diese Größe ist jedoch schlecht erfaßbar und von Werk zu Werk unterschiedlich. Deshalb wird als Hilfsgröße der Verkaufspreis des Fertigerzeugnisses zugrunde gelegt.
Die Preise von Walzstahlfertigerzeugnissen setzen sich aus einem Listengrundpreis, wie er für das Gebiet des Gemeinsamen Marktes der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft für Kohle und Stahl festgelegt ist, und verschiedenen Zuschlägen und Aufpreisen sowie Rabatten zusammen. Die Grundpreise gelten für den Verkauf auf Frachtbasis frei Oberhausen; für Bahnfracht wird kein Zuschlag, für LKW-Fracht ein Zuschlag von 3,— DM/t erhoben. Innerhalb des deutschen Bundesgebietes kommen Abgaben im Anhängerverfahren zu den Listenpreisen für die Preisausgleichskasse für revierferne Gebiete und für West-Berlin hinzu. Als Abschlag werden Händler- und Verbraucherrabatte sowie bestimmte Mengenrabatte gewährt. Die Grundpreise beziehen sich auf bestimmte Stahlgüten; z. B. für Formstahl nach DIN 17100 aus St 33. Für Qualitäten mit Gewährleistung höherer mechanischer Werte sind Aufpreise zu entrichten. Weiterhin unterscheidet man bestimmte Gütegruppen entsprechend den Stahlerschmelzungsarten. Stähle der Gütegruppe 1 sind nach dem Thomasverfahren, Stähle der Gütegruppe 2 (mit garantierten Höchstwerten für Phosphor- und Schwefelgehalt) nach dem Siemens-Martin- oder gleichwertigen Verfahren gewonnen. Für Formstahl als Beispiel ist die entsprechende Preisbildung in Tab. 10 angeführt.
Weitere Aufpreise entstehen für festgelegten Cu-Gehalt, für Werkszeugnisse und Abnahmezeugnisse, für den Nachweis von Schweißbarkeit und bestimmter Kerbschlagzähigkeit. Die Grundpreise beziehen sich auf bestimmte Abmessungen des Walzstahlerzeugnisses. Für davon abweichende Abmessungen sind sogenannte Abmessungsaufpreise ebenso wie Zuschläge für Überlängen, Kurzlängen oder einen vorgeschriebenen Längenspielraum zu bezahlen. Für zusätzliche Bearbeitungsgänge, wie doppeltes Richten bei Formstahl, Warmbehandlung (Spannungsfrei-, Weich- oder Normalglühen oder Vergüten), Sandstrahlen etwa bei Stab-

Tab. 10 Güteaufpreise für Formstahl
(Allgemeine Baustähle nach DIN 17100)

Gütegruppe 1		Gütegruppe 2	
Güte	DM/t	Güte	DM/t
St 33	aufpreisfrei		
U St 34-1	10,50	U St 34-2	10,50
R St 34-1	23,50	R St 34-2	23,50
U St 37-1	3,50	U St 37-2	6,—
R St 37-1	16,50	R St 37-2	19,—
U St 42-1	22,—	U St 42-2	22,—
R St 42-1	35,—	R St 42-2	35,—
Grundpreis 424 DM/t		Grundpreis 467 DM/t	

stahl, Beizen und Kalken von Walzdraht, Beizen und Ölen von Warmbreitband und Feinblech werden weitere Aufpreise erhoben. Auch bei weiteren Gewährleistungen wie Emallierfähigkeit, Verzinkungs- und Verbleiungsfähigkeit und Abkantgüte bei Blechen sind Zuschläge zu entrichten. Bestimmte Anforderungen an die Verpackung sowie Minderversand (geringe Mengen) erhöhen die Endpreise ebenfalls.
Wie diese knappen Erläuterungen über die Preiszusammensetzung zeigen, ist mit bestimmten Verschiebungen des tatsächlich zu bezahlenden Preises für ein Walzerzeugnis im konkreten Fall zu rechnen. Der Vergleichbarkeit halber wird der Listengrundpreis als Bezugsbasis gewählt. Die Listengrundpreise für die untersuchten Fertigerzeugnisse sind in Tab. 11 zusammengestellt.

Tab. 11 Zusammenstellung der Listengrundpreise für Walzstahlfertigerzeugnisse

	Th-Stahl DM/t	SM- und Vk-Stahl[1] DM/t
Formstahl	424	467
Stabstahl schwer	444	487
mittel	434	477
fein	449	492
Walzdraht	442	485
Grobblech	477	537
Bandstahl	471	515
Warmbreitband	467	511
Feinblech	555	605

[1] Oxygen- und Elektrostahl

8. Bestimmung der Energiekostenanteile am Listenpreis für Walzstahlfertigerzeugnisse

Die spezifischen Strom- und Wärmeverbrauchszahlen aus Tab. 8 ergeben multipliziert mit den Strom- und Wärmepreisen die Strom- bzw. Wärmekosten und als deren Summe die Gesamtenergiekosten je Tonne Walzstahlfertigerzeugnis. Wie in Abschnitt 6 erläutert wurde, ist zwischen Energieträger-Bezugspreisen für Einspeisung ins Werk und den Energie-Bruttopreisen am Ort des Verbrauchs zu unterscheiden. Da sich das Energiepreisniveau auf die Wettbewerbsfähigkeit nur über die Energieträger-Bezugspreise auswirkt – die Energiewandlerkosten bestimmen dagegen über die Verteilungszuschläge zusammen mit den Energieträger-Bezugspreisen den Bruttopreisstand –, wird im Rahmen der Aufgabenstellung des vorliegenden Berichtes nur mit den Bezugspreisen gearbeitet. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die tatsächliche Belastung der Erzeugnisse durch die Energieaufwendungen um die Verteilungszuschläge höher ist, jedoch von den Gesamtaufwendungen nur der energieträgerabhängige Anteil durch den Energiepreismarkt direkt beeinflußt wird – sofern nicht Substitionsvorgänge zwischen einzelnen Energieträgern ausgelöst werden.

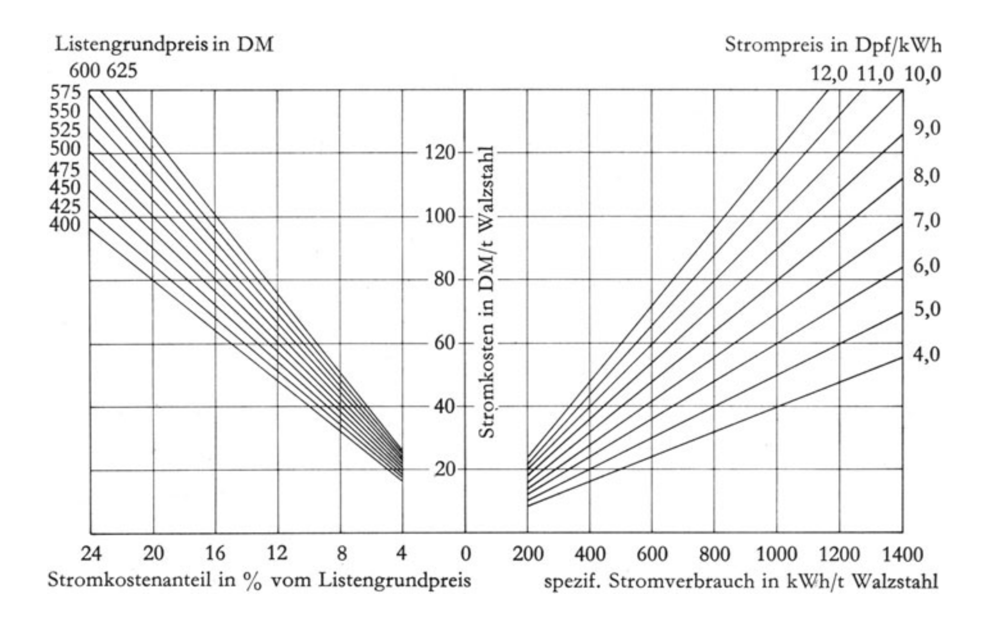


Abb. 12 Nomogramm zur Ermittlung des Stromkostenanteils am Preis von Walzstahlfertigerzeugnissen

Während die Bezugspreise von Wärmeträgern aus amtlichen Preislisten zu entnehmen sind und man mit dem in Tab. 9 ermittelten Durchschnittswert von 1,3 DPf/Mcal rechnen kann, sind die tatsächlich an die Versorgungsunternehmen zu entrichtenden Gebühren für elektrische Energie Gegenstand von Sonderverträgen, die die besonderen Bedingungen des Abnehmers berücksichtigen. Um hier die Stromkosten je Tonne Walzstahl in Abhängigkeit vom Strompreis auffinden zu können, wurde ein Nomogramm entwickelt (Abb. 12), das zusätzlich für verschiedene Listengrundpreise eine einfache Ablesung des Stromkostenanteils am Endpreis von Walzstahlfertigerzeugnissen gestattet. Die in Tab. 12 zusammengestellten Stromkosten wurden mit einem Strombezugspreis von 5,5 DPf/kWh errechnet. Die Umrechnung auf andere Strompreise kann nach Abb. 12 durchgeführt werden. Vor allem auf den nachgeschalteten Walzwerken etwa für die Bandstahl- und Drahtherstellung, die nicht auf dem Gelände der gemischten Hüttenwerke liegen, werden erheblich höhere Strombezugspreise bezahlt. Man müßte dann einen gewogenen Mittelwert nach folgender Beispielrechnung ansetzen: Bei den Fertigungsvorstufen für die Bandstahlherstellung (vgl. Tafel 16) werden bis zu den Vorbrammen aus Thomas-Stahl 315 kWh/t Warmband im gemischten Hüttenwerk (einschließlich Erzgewinnung und Kalksteinwerk) benötigt, in der Endfertigungsstufe im nachgeschalteten Walzwerk sind 85 kWh/t Warmband erforderlich. Wenn der Strombezugspreis im Hüttenwerk 5,5 DPf/kWh und im Bandwalzwerk 10,0 DPf/kWh betragen möge, so erhält man einen gewogenen Mischpreis von 6,45 Dpf/kWh.
Vergleicht man die Energiekosten der Erzeugungsgruppen gleicher Erschmelzungsart, so ergibt sich ein Bereich für die Wärmekosten von

82,10–101,80 DM/t bei Thomas-Stahl
52,00– 66,80 DM/t bei SM-Stahl
71,50– 88,90 DM/t bei Oxygen-Blasstahl
14,00– 24,60 DM/t bei Elektrostahl

Die entsprechenden Grenzwerte für die Stromkosten sind:

19,30– 31,40 DM/t bei Thomas-Stahl
13,80– 25,60 DM/t bei SM-Stahl
21,40– 33,80 DM/t bei Oxygen-Blasstahl
56,40– 72,05 DM/t bei Elektrostahl

Ähnlich unterschiedliche Werte zeigt der Vergleich zwischen gleichen Erzeugnissen, deren Rohstahl nach verschiedenen Verfahren erschmolzen wurde. Läßt man die Elektrostahlgewinnung wegen ihrer Besonderheit, daß Strom zu Wärmezwecken eingesetzt wird, außer acht, so ergeben sich noch Unterschiede zwischen Th-Stahl und SM-Stahl im Verhältnis von rd. 1,2 ÷ 1,6 : 1 bei Wärme- und Stromkosten. Ursache hierfür ist keineswegs eine Überlegenheit des Siemens-Martin-Verfahrens hinsichtlich des thermischen Wirkungsgrades – im Gegenteil ist beim Konverterverfahren keine Wärmezufuhr von außen wie im Siemens-Martin-Ofen notwendig –, sondern vielmehr der Unterschied im Roheiseneinsatz von 1,060 t

Tab. 12 Spezifische Energiekosten und Energiekostenanteile am Preis von Walzstahlfertigerzeugnissen[1]

Erzeugnis	Wärmekosten DM/t	Stromkosten DM/t	Energiekosten DM/t	Wärmekostenanteil %	Stromkostenanteil %	Energiekostenanteil %	Wärmekosten DM/t	Stromkosten DM/t	Energiekosten DM/t	Wärmekostenanteil %	Stromkostenanteil %	Energiekostenanteil %
	Thomasstahl						Oxygenstahl					
Formstahl	82,10	19,30	101,40	19,4	4,5	23,9	71,50	21,40	92,90	15,3	4,6	19,9
Stabstahl schwer	82,10	19,30	101,40	18,5	4,3	22,8	71,50	21,40	92,90	14,7	4,4	19,1
mittel	93,90	23,90	117,80	21,6	5,5	27,1	82,10	26,10	108,20	17,2	5,5	22,7
fein	93,90	25,30	119,20	20,9	5,7	26,6	82,10	27,50	109,60	16,7	5,6	22,3
Walzdraht	92,50	27,50	120,00	21,0	6,2	27,2	80,50	29,70	110,20	16,6	6,1	22,7
Grobblech	101,80	25,00	126,80	21,4	5,2	26,6	88,90	27,50	116,40	16,6	5,1	21,7
Bandstahl	87,00	22,00	109,00	18,5	4,7	23,2	76,00	24,20	100,20	14,8	4,7	19,5
Warmbreitband	88,10	21,20	109,30	18,9	4,5	23,4	77,10	23,10	100,20	15,1	4,5	19,6
Feinblech	100,00	31,40	131,40	18,0	5,6	23,6	87,40	33,80	121,20	14,4	5,6	20,0
	Siemens-Martin-Stahl						Elektrostahl					
Formstahl	52,00	13,80	65,80	11,1	3,0	14,1	14,00	56,40	70,40	3,0	12,1	15,1
Stabstahl schwer	52,00	13,80	65,80	10,7	2,8	13,5	14,00	56,40	70,40	2,9	11,6	14,5
mittel	61,50	18,20	79,70	12,9	3,8	16,7	21,70	62,70	84,40	4,6	13,1	17,7
fein	61,50	19,30	80,80	12,5	3,9	16,4	21,70	64,10	85,80	4,4	13,1	17,5
Walzdraht	60,20	21,70	81,90	12,4	4,5	16,9	20,60	66,30	86,90	4,2	13,7	17,9
Grobblech	66,80	18,70	85,50	12,4	3,5	15,9	24,00	67,00	91,00	4,5	12,5	17,0
Bandstahl	56,70	16,50	73,20	11,0	3,2	14,2	19,00	58,85	77,85	3,7	11,4	15,1
Warmbreitband	57,60	15,70	73,30	11,3	3,1	14,4	20,00	58,00	78,00	3,9	11,4	15,3
Feinblech	66,30	25,60	91,90	11,0	4,2	15,2	24,60	72,05	96,65	4,1	11,9	16,0

[1] Berechnet mit einem Wärmebezugspreis von 1,3 Dpf/Mcal und einem Strombezugspreis von 5,5 Dpf/kWh.

RE/t Rohstahl beim Thomasverfahren gegenüber 0,400 t RE/t Rohstahl im SM-Werk (entspricht etwa den Bundesdurchschnittswerten). Durch die hohen Energieverbrauchszahlen der Roheisenvorstufen und vor allem der Roheisengewinnung werden die Energiekosten je Tonne Th-Stahl erheblich höher als je Tonne SM-Stahl, in der ein großer Schrottanteil enthalten ist. Man darf sich also keineswegs dazu verleiten lassen, aus der Zusammenstellung Schlußfolgerungen auf die energetische Güte der verschiedenen Erschmelzungsverfahren ziehen zu wollen. Die Spreizung zwischen größtem und kleinstem spezifischen Wärmebedarf beträgt 1:7,2 beim Strombedarf 1:5,2.

Bei den Gesamtenergiekosten ergibt sich mit 65,80 DM/t Formstahl der SM-Qualität und 131,40 DM/t Feinblech aus Th-Stahl ein Grenzwertverhältnis von etwas über 1:2. Die Grenzen für die Energiekostenanteile am Listenpreis der Walzstahlfertigerzeugnisse unterscheiden sich mit 13,5% (grober Stabstahl der SM-Qualität) und 27,2% (Walzdraht aus Th-Stahl) ebenfalls im Verhältnis 1:2.

Als durchschnittlichen Stromkostenanteil am Endpreis ermittelt aus den anteiligen Walzstahlfertigerzeugnissen unter Berücksichtigung ihrer Stahlqualitäten erhält man 5,5%; als Wärmekostenanteil 14% und als Gesamtenergiekostenanteil 19,5%.

Legt man z. B. für betriebswirtschaftliche Untersuchungen statt der Energieträger-Bezugspreise die Energie-Bruttopreise zugrunde, so erhöhen sich die Energiekostenanteile auf 7,1% Stromkostenanteil, 15,3% Wärmekostenanteil und 22,4% Gesamtenergiekostenanteil.

Eine Änderung des Bezugspreisniveaus um 5% bewirkt eine Änderung am Energiekostenanteil vom Listenpreis um 1%. Das ist, verglichen mit der Ertragslage der Eisen schaffenden Industrie, ein erheblicher Betrag.

9. Vergleich mit Energiekostenermittlungen anderer Untersuchungen

Wie bereits einleitend angeführt wurde, basieren die wenigen Untersuchungen, die unternommen worden sind, um den Energiekostenanteil zu quantifizieren, auf den Erhebungen der Statistik. Vergleicht man das Ergebnis von K. Koch und R. Krengel [5] für den Bereich der Eisen schaffenden Industrie mit der vorliegenden Untersuchung, so zeigt sich zwangsläufig der Nachteil, daß eine statistische Ermittlung keine Differenzierung auf die einzelnen Fertigerzeugnisse zuläßt, sondern nur eine Durchschnittszahl kennt. Auf die Unsicherheiten bei der Ermittlung des Energieverbrauches und noch stärker der Energieträger-Bezugspreise aus den Angaben der Statistik wurde bereits hingewiesen. Die genannten Autoren haben als nominale Energiekosten im Bereich der Eisen schaffenden Industrie 13,87% vom Umsatz und als reale Energiekosten 33,02% vom Nettoproduktionswert für das Jahr 1960 gefunden. Vergleichbar mit den Angaben des vorliegenden Berichts wäre die zweite Bildungsart einer Energiekosten-Kenngröße. Der Nettoproduktionswert stellt die Produktionsleistung einer Unternehmung dar; dazu sind vom Bruttoproduktionswert alle Vorleistungen, wie von anderen Unternehmungen bezogene Rohstoffe und Vorprodukte, Hilfs- und Betriebsstoffe und Dienstleistungen abzuziehen. Ein Überschlag für ein konkretes Beispiel mag dies erläutern: 1 t Formstahl aus Th-Stahl kostet 424,— DM. Dazu waren 1,6 t Erz mit einem Durchschnittsmischpreis von 47,80 DM/t; 0,26 t Zuschläge (im wesentlichen Kalk und Kalkstein) zu rd. 46,— DM/t, 6320 Mcal/t zu 1,3 DPf/Mcal entsprechend einem Wärmeträgereinsatz von 82,10 DM/t und 350 kWh/t zu 5,5 DPf-kWh entsprechend 19,30 DM/t als wichtigste Roh- und Betriebsstoffe erforderlich. Der Nettoproduktionswert für 1 t Formstahl Th-Qualität läßt sich also als Anhaltswert zu 233,— DM oder rd. 55% des Listengrundpreises ermitteln (entsprechende Zahlen für SM-Stahl 75%). Man kann den Nettoproduktionswert wohl mit zwei Drittel des Listengrundpreises angeben. Bereinigt man die Angaben von Koch und Krengel, die für das Jahr 1960 bei einem Koksverbrauch von 826 kg/t RE berechnet wurden, auf 650 kg Koks/t RE, so erhält man 27,6% Energiekostenanteil am Nettoproduktionswert. Über den Zusammenhang zwischen Nettoproduktionswert und Listengrundpreise sieht man, daß die Ergebnisse im Durchschnitt in gleicher Größenordnung liegen, wobei die eigenen Untersuchungen einen etwas höheren Energiekostenanteil ausweisen.
Im Gegensatz zu Koch und Krengel bezieht H. Bischoff [6] die Energiekosten auf den Gesamtproduktionswert, der nach seinen Angaben zum Nettoproduktionswert im Jahre 1958 im Verhältnis 2,67:1 stand. Für 1958 erhält er einen Energiekostenanteil am Gesamtproduktionswert von 12,2%. Rechnet man zum Vergleich mit den Angaben von Koch und Krengel auf den Nettoproduktionswert um, so zeigt sich zwischen den beiden Arbeiten eine relativ gute Übereinstimmung mit 34,78% nach [5] und 32,6% nach [6]. (Bezugsjahr 1958).

10. Zusammenfassung

Im Rahmen der energiepolitischen Diskussion ist mehr und mehr die Frage nach dem Einfluß der Energiekosten auf die Wettbewerbsfähigkeit der westdeutschen Industrie in den Vordergrund getreten. Dabei stützen sich die meisten hierzu abgegebenen Urteile kaum auf konkrete Vorstellungen über die Höhe, Entwicklung und Struktur der Energiekosten; vielfach werden die Energiekosten nicht einmal einwandfrei definiert. Der vorliegende Bericht sollte als einen ersten Beitrag zu diesem Fragenkreis den Einfluß der Energiekosten für den Bereich der Eisen schaffenden Industrie ermitteln. Dazu wurde ein neuartiges kumulatives System zur Ermittlung der Energieverbrauchszahlen durch die nacheinandergeschalteten Fertigungsstufen vom Rohstoff bis zum Fertigerzeugnis herangezogen und der mittelbare Verbrauch, der in allen Hilfs- und Betriebsstoffen enthalten ist, miteinbezogen. Da sich die Wettbewerbsfähigkeit auf den Märkten der einzelnen Erzeugnisse abspielt, wurden die wichtigsten Fertigerzeugnisse der Eisen schaffenden Industrie ausgewählt, an Hand deren man dann auf die Wettbewerbssituation der gesamten Industriegruppe schließen kann. Um den zahlreichen Varianten bei Fertigungsablauf und Energieeinsatz im gemischten Hüttenwerk gerecht zu werden, wurden Modellbilder für die Herstellung der einzelnen Erzeugnisse entwickelt, die durch Beiträge aus der Eisenhüttenindustrie möglichst wirklichkeitsnahe gestaltet werden konnten.

Die Energiekosten ergeben sich aus Energieverbrauchszahl und Energieträgerpreis. Da der Einfluß der Änderung des Energieträgerpreisniveaus zu prüfen war, wurde der Energieträger-Bezugspreis verwendet. Bei der Errechnung der Energiekosten für betriebswirtschaftliche Aufgaben müssen die Verteilungsnebenkosten, die zur Aufbereitung und zum Transport an den Ort des Energieverbrauchs entstehen, mitberücksichtigt werden; die betriebswirtschaftlichen Energiekosten werden damit höher als die in Tab. 12 angegebenen.

Um ein Bezugsmaß für den Einfluß der Energiekosten zu finden, wurden die Listengrundpreise für Walzstahlfertigerzeugnisse verwendet. Da nach Angaben der Stahlindustrie eine Energiepreiserhöhung nicht mehr abgefangen werden kann, sondern sich auf den Endpreis auswirken muß, dürfte der Listenpreis die sinnvollste Bezugsgrundlage sein. Im Durchschnitt ergibt sich ein Energiekostenanteil von 19,5% am Listenpreis; darin macht der Stromkostenanteil 5,5%, der Wärmekostenanteil 14% aus. Eine Änderung des Energieträgerpreisniveaus um 5% würde eine Änderung der Listenpreise um 1% unter den genannten Voraussetzungen nach sich ziehen. Der vorliegende Bericht gestattet darüber hinaus eine Differenzierung nach einzelnen Fertigerzeugnissen der verschiedenen Erschmelzungsqualitäten (Tab. 12), wobei die derzeitige Struktur der Roheisensätze im Bundesdurchschnitt vorausgesetzt ist. Wie man sieht, variieren die Energiekostenanteile zwischen 13,5% und 27,2% im Verhältnis von etwa 1:2.

11. Literaturverzeichnis

[1] Mueller, H. F., Energieverbrauch als betriebswirtschaftliches Problem. Prakt. Energiek. 11 (1963), S. 27–30.

[2] Mueller, H. F., Tagungsberichte des Energiewirtschaftlichen Institutes der Universität Köln, Heft 11, S. 29ff.

[3] Gehrecke, S., Energiekosten und Wettbewerbsfähigkeit in der Industrie. Prakt. Energiek. (1965), Heft 2/3.

[4] Gehrecke, S., F. Holzwarth und H. Schaefer, Der Kostenfaktor Energie und die Problematik seiner Erfassung. VDI-Zeitschrift Bd. 106 (1964), S. 483–486.

[5] Koch, K., und R. Krengel, Der Kostenfaktor Energie in der westdeutschen Industrie. Sonderhefte des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung, N. F., Reihe A, Nr. 63, Berlin: Duncker und Humblot 1962.

[6] Bischoff, H. H., Die Energiekosten und ihre volkswirtschaftliche Bedeutung. Glückauf 99 (1963), S. 475–480, und Handelsblatt (1963) v. 7. 5. 1963.

[7] Wesemann, F., Einflüsse der Entwicklung der hüttenmännischen Verfahren auf die künftige Struktur der Wärme- und Kraftwirtschaft der gemischten Hüttenwerke. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 65–75.

[8] Gehrecke, S., Anteile der Energieträgerkosten am Preis industrieller Produkte. Prakt. Energiek. 12 (1964), S. 132–137.

[9] Eisen und Stahl. 4. Vierteljahresheft 1964, Herausgeber: Statistisches Bundesamt, Außenstelle Düsseldorf.

[10] Die modernste Mitteleisenstraße Europas. Sonderdruck aus Klepzig Fachberichte, März 1958, Nr. 3, Verlag L. A. Klepzig, Düsseldorf.

[11] Kahlhöfer, H., A. Send und G. Prötschner, Die Auswirkung der Möllervorbereitung auf den Hochofenbetrieb. Stahl und Eisen 79 (1959), S. 1461–1471.

[12] Minträp, R., Senkung des Koksverbrauches und Steigerung der Roheisenerzeugung durch Erzvorbereitung. Stahl und Eisen 78 (1958), S. 633–646.

[13] Zischkale, W., G. Heynert und H. Beer, Auswirkung der Heißwindtemperaturen auf die Betriebsergebnisse des Hochofens. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 1117–1125.

[14] Brandi, H., P. Ischebeck und H. Beer, Einblasen von Schweröl bei hohen Windtemperaturen, voll vorbereitetem Möller und Sauerstoffzusatz. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 1541–1553.

[15] Springorum, F. A., Rationalisierung des Kokseinsatzes im Hochofen. Technik und Forschung 41/42 (1963), S. 820–824.

[16] Wenzel, H., Betriebskennlinien von Arbeitsmaschinen. Unveröffentlichtes Manuskript.

[17] Ebersbach, K. F., Energetische Betriebskennlinien wärmetechnischer Anlagen. Unveröffentlichtes Manuskript.

[18] Müller, H., Energetische Betriebseigenschaften wärmetechnischer Anlagen. In der Reihe »Beiträge zur praktischen Energiewirtschaft«, Bd. 10, Resch-Verlag München, Karlsruhe 1962.

[19] Maier, K. H., H. Ruch und R. Sitzler, Energetische Untersuchung und Abnahmeversuch an einem erdgasbeheizten Schmiedeofen. Prakt. Energiek. 11 (1963), S. 91–96.

[20] Wenzel, H., Bestimmung der Energieverluste von Übertragungsgetrieben und Walzenlagerungen durch Betriebsuntersuchungen an Walzgerüsten verschiedener Bauart und -größe. Maschinenmarkt 72 (1966) S. 224–229 und 236–241.

[21] Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Festlegung von Definitionen über den Nutzungsgrad in der Energiewirtschaft. Prakt. Energiek. 11 (1963), S. 3–15.

[22] Wenzel, H., Betriebsuntersuchungen und Berechnungsverfahren zur Aufstellung des energetisch optimalen Walzplanes für das Walzen von Metallen auf kontinuierlichen Warmband-Fertigstraßen. Archiv für das Eisenhüttenwesen 86 (1966) S.115–126.

[23] Harms, F., Beitrag zur Kenntnis des Lichtbogenofens unter besonderer Berücksichtigung des Großraumofens für die Stahlerzeugung. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 257–269.

[24] Weiss, H., Die wirtschaftliche Bedeutung einer vollkontinuierlichen Halbzeugstraße. Stahl und Eisen 73 (1953), S. 272–278.

[25] Anhaltszahlen für die Wärmewirtschaft in Eisenhüttenwerken. 5. Auflage, Düsseldorf (1957), Verlag Stahleisen.

[26] Stahleisenkalender 1965, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf.

[27] Schwabe, G., und H. Rellermeyer, Über die Herstellung von Sinter und seine Eigenschaften. Stahl und Eisen 84 (1964), S. 327–349 und 479–483.

[28] Cappel, F., Maßnahmen zur Steigerung der Sinterfertigkeit. Stahl und Eisen 84 (1964), S. 1062–1070.

[29] Schenk, H., Eisenhüttentechnik in Deutschland und im Ausland. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 1683–1690.

[30] Beer, H., und G. Heynert, Beurteilung und Vergleich der Leistung von Hochöfen. Stahl und Eisen 84 (1964), S. 1353–1365.

[31] Keller, W., und W. Risse, Erfahrungen bei der Ölzusatzbeheizung von Hochofen-Winderhitzern. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 1426–1432.

[32] Speith, K. G., H. von Emde und O. Steinhauser, Die Kühlwirkung verschiedener Zuschläge und ihr Einfluß auf die Einsatzverhältnisse und -kosten beim Frischen mit Sauerstoff. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 961–971.

[33] Köhler, W., J. Schoop und K. K. Aschendorff, Zur Metallurgie der Sauerstoffaufblas-Verfahren für Thomas-Roheisen. Stahl und Eisen 84 (1964), S. 987–998.

[34] Johansson, F., und B. Kolling, Über die Wirtschaftlichkeit des Kaldoverfahrens. Stahl und Eisen 84 (1964), S. 181–190.

[35] Behrens, K., und R. von Moos, Das neue Oxygenstahlwerk (Sauerstoff-Blasstahlwerk) der August-Thyssen-Hütte. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 1025–1034.

[36] Voigt, H., und G. Mahn, Stoff und Wärmebilanz beim Verblasen von Thomasroheisen nach dem »LD-AC«-Verfahren in einem 50-t-Konverter. Stahl und Eisen 84 (1964), S. 1120–1128.

[37] Behrens, K., Stahlerzeugung nach dem Sauerstoffblas-Verfahren in großen Konvertern. Stahl und Eisen 85 (1965), S. 173–180.

[38] Wart, H. von der, G. Henke, E. Wiegand und W. Nellen, Das neue Siemens-Martin-Stahlwerk III der Hoesch-Westfalenhütte AG, Dortmund. Stahl und Eisen 78 (1958), S. 79–86.

[39] ZIMMER, K. O., K. WALDEN, M. WEILER und W. GERLING, Erzeugung von Siemens-Martin-Stahl aus phosphorreichem Roheisen durch Aufblasen von Sauerstoff. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 382–387.
[40] HARNISCH, A., J. J. DÖLLEKER und F. HILLEBRAND, Gewölbehaltbarkeiten von ölbeheizten 200-t-Siemens-Martin-Öfen bei Betrieb mit Erdgas-Hochdruck-Zerstäubung. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 789–804.
[41] GÖRGEN, R., Wärmetechnische und wirtschaftliche Merkmale des Siemens-Martin-Ofens bei reinem Sauerstoffbetrieb. Stahl und Eisen 84 (1964), S. 350–361.
[42] HAUCKE, M., H. CLAAS, H. J. KOPENECK und H. OTTMAR, Verwendung von Feinkohle im Elektrostahlwerk. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 441–449.
[43] PAWELSKI, O., Umformtechnische Kenngrößen an Warmwalzstraßen. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 1440–1451.
[44] DIESTEL, P., Wertung der Bauart und Arbeitsweise einer Grobblechstraße auf Grund von Betriebsergebnissen. Stahl und Eisen 78 (1958), S. 1536–1546.
[45] LOECK, K., Entwicklungsrichtungen in der Grobblech-Zurichtung. Stahl und Eisen 85 (1965), S. 526–535.
[46] Lueger-Lexikon der Hüttentechnik. Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1963.
[47] GIESDORF, K., Betriebserfahrungen über die elektrischen Hauptantriebe neuzeitlicher Umkehrstraßen. Stahl und Eisen 76 (1956), S. 1231–1246.
[48] EMICKE, O., und K. H. LUCAS, Ergebnisse von Walzversuchen an einem Grobblechwalzwerk mit Twin-Drive-Antrieb. Neue Hütte 4 (1959), S. 85–93.
[49] BUCH, G., Einsatz und Wirkungsweise des Reversier-Warmbandwalzwerkes. Blech (1957), S. 81–85.
[50] WLADIKA, H., Planung und Erfahrungen beim Betrieb einer halbkontinuierlichen Warmbreitbandstraße. Stahl und Eisen 81 (1961), S. 1598–1609.
[51] SPENLÈ, E., Betriebserfahrungen und Erkenntnisse an einer Warmbreitbandstraße und einem Kaltbandwerk. Stahl und Eisen 79 (1959), S. 683–693.
[52] LUEG, W., und H. G. MÜLLER, Die Vorgänge im Walzspalt und ihre Rückwirkung auf Walzkraft und Drehmoment beim Warmwalzen. Stahl und Eisen 76 (1956), S. 1343–1356.
[53] KÖSTERS, F., Planung, Aufbau und Betriebsergebnisse einer neuen halbkontinuierlichen Mittelstraße. Stahl und Eisen 82 (1962), S. 77–90.
[54] ANTONI und SCHNEIDER, Über die Wirtschaftlichkeit einer vollkontinuierlichen Feinstraße. Stahl und Eisen 80 (1960), S. 641–651.
[55] SCHWENZFEIER, W., und O. PAWELSKI, Kraft und Arbeitsbedarf an einer kontinuierlichen Feinstahlstraße. Stahl und Eisen 83 (1963), S. 1553–1561.
[56] WEYEL, A., und H. WEIDE, Das neue Fein- und Drahtwalzwerk des Klöckner-Hüttenwerkes Haspe. Stahl und Eisen 77 (1957), S. 1464–1476.
[57] SEVERING, H., Aufbau und Betriebsergebnisse einer neuzeitlichen kontinuierlichen Mittelbandstraße. Stahl und Eisen 78 (1958), S. 205–214.
[58] STENGER, W., und O. DAHLKE, Das neue Warmband-Walzwerk der Firma Borsig AG in Berlin-Tegel. Stahl und Eisen 78 (1958), S. 812–820.
[59] LAMPMANN, H., Die vollkontinuierliche Mittelbandstraße der Firma Th. Wuppermann GmbH, Leverkusen. Stahl und Eisen 78 (1958), S. 160–167.
[60] Statistik der Kohlenwirtschaft. Glückauf Verlag, Essen 1965, Heft 67, S. 87–91.

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Dr. Franz Meyers von Staatssekretär Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. E. h. Leo Brandt

ENERGIEWIRTSCHAFT

HEFT 572
Dipl.-Kfm. Dipl.-Volksw. Dr. Jean-Baptiste Felten, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln, Direktor: Prof. Dr. Theodor Wessels
Wert und Bewertung ganzer Unternehmungen unter besonderer Berücksichtigung der Energiewirtschaft
1958. 144 Seiten, zahlr. Tabellen. DM 33,60

HEFT 658
Dipl.-Kfm. Dr. Hans Grupe, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln
Public Relations in der öffentlichen Energieversorgung *1958. 48 Seiten. DM 12,25*

HEFT 913
Prof. Dr.-Ing. Paul Denzel, Dipl.-Ing. Richard Laufen und Dipl.-Ing. Werner Heilmann, Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der Rhein.-Westf. Technischen Hochschule Aachen
Verbesserung der Benutzungsdauer in ländlichen Ortsnetzen
1960. 68 Seiten, 25 Abb., 18 Tabellen. DM 20,50

HEFT 924
Dipl.-Ing. Karl Otto Bosse, Gaswärme-Institut e. V., Essen-Steele
Der Einfluß der Art der Kohlenwasserstoffe in Stadt- und Ferngasen auf den Verbrennungsablauf in Gasgeräten
1960. 48 Seiten, 27 Abb., 13 Tabellen. DM 15,60

HEFT 1037
Prof. Dr. Ing. Fritz Schuster und Dipl.-Ing. Ivica Škunca, Gaswärme-Institut e. V., Essen-Steele
Der Einfluß der Art der Kohlenwasserstoffe in Stadt- und Ferngasen auf den Verbrennungsablauf in Gasgeräten. Über die Auswirkung der Zusammensetzung von Prüfgasen für Geräte des Haushalts auf deren Beurteilung
1961. 23 Seiten, 14 Tabellen. DM 9,10

HEFT 1064
Dr. Hans-Werner Oberlack und Dipl.-Kfm. Ernst Böke, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln, Direktor: Prof. Dr. Theodor Wessels
Energiepreisentwicklung und allgemeine Preisbewegung. Einzeldarstellung und vergleichende Untersuchung für Europa und die USA
1962. 268 Seiten, 91 Tabellen. DM 47,60

HEFT 1133
Prof. Dr.-Ing. Paul Denzel, Dipl.-Ing. Egon Reuter und Dipl.-Volksw. Hans Ernst, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der Rhein.-Westf. Technischen Hochschule Aachen
Untersuchungen über den Verbundbetrieb mit der Schweiz
1962. 56 Seiten, 39 Abb. DM 26,80

HEFT 1155
Dr. Gundolf Schönauer, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln, Direktor Prof. Dr. Theodor Wessels
Marktprozesse in der öffentlichen Energiewirtschaft und deren volkswirtschaftliche Beurteilung
1963. 92 Seiten, 2 Abb., 3 Tabellen. DM 26,80

HEFT 1204
Dipl.-Ing. Klaus Rübel, Gaswärme-Institut e. V., Essen-Steele, Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. Ing. Fritz Schuster
Einfluß der Art der Kohlenwasserstoffe in Stadt- und Ferngasen auf den Verbrennungsablauf in Gasgeräten. Temperaturabhängigkeit der Abhebeerscheinungen
1963. 27 Seiten, 14 Abb. DM 14,60

HEFT 1224
Dipl.-Volkswirt Uwe Jönck, Institut für Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften der Universität Bonn, Leiter: Prof. Dr. Wilhelm Krelle
Die Entwicklung des Stromverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahre 1970
1963. 103 Seiten, 37 Abb., 36 Tabellen. DM 48,—

HEFT 1249
Prof. Dr.-Ing. Harald Müller und Dr.-Ing. Horst Krabiell, Elektrowärme-Institut Essen e. V., Essen
Untersuchungen beim Betrieb von elektrischen Lichtbogenöfen zur Verhinderung von störenden Rückwirkungen auf das öffentliche Netz
1963. 25 Seiten, 9 Abb. DM 13,60

HEFT 1368
Dipl.-Ing. Ivica Skunca, Gaswärme-Institut e. V., Essen-Steele, Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. Ing. Fritz Schuster
Systematische Untersuchung der Ulbrichtschen Kugel in bezug auf ihre Anwendbarkeit zur Messung des Lichtstromes von Gasglühkörpern und Gasleuchten
1964. 33 Seiten, 15 Abb., 4 Tabellen. DM 17,80

HEFT 1369

Dipl.-Chem. M. Raschke, Gaswärme-Institut e. V., Essen-Steele, Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. Ing. Fritz Schuster

Ermittlung der Zusammensetzung technischer Brenngase, insbesondere der in ihnen enthaltenen Kohlenwasserstoffe, nach verschiedenen gaschromatographischen Methoden

1964. 28 Seiten, 6 Abb., 2 Tabellen. DM 14,80

HEFT 1424

Prof. Dr.-Ing. Harald Müller und Dipl.-Ing. Wolfgang Morgenstern, Elektrowärme-Institut Essen e.V., Essen Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Harald Müller

Anwendung der Impulstechnik bei unmittelbarer Erwärmung von Gütern

1965. 41 Seiten, 6 Abb., 1 Tabelle, 9 Beilagen. DM 22,80

HEFT 1439

Dr.-Ing. Paul Schadach, Elektrowärme-Institut Essen e.V., Essen

Über die Anwendbarkeit selbständiger elektrischer Entladungen zum Erwärmen und Schmelzen von Metallen im Druckgebieten von 100 bis 0,001 Torr

1964. 80 Seiten, 49 Abb., 2 Tabellen. DM 41,60

HEFT 1457

Dr.-Ing. Herbert Wilhelmi, Gaswärme-Institut e.V., Essen-Steele, Wissenschaftl. Leitung: Prof. Dr. Fritz Schuster

Explosionsdruck von Brenngasen

Explosionsdrücke von Brenngasen in verschieden geformten Gefäßen

1965. 29 Seiten, 6 Abb., zahlreiche Tabellen. DM 14,80

HEFT 1470

Dr.-Ing. Günter Wagner, Gaswärme-Institut e. V., Essen, Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Fritz Schuster

Feldionen-Massenspektrometrie an Kohlenwasserstoffen und Zwischenprodukten ihrer Verbrennungsreaktionen

1966. 104 Seiten, 43 Abb., 12 Tabellen, 3 Tafeln, DM 54,20

HEFT 1471

Prof. Dr.-Ing. Paul Denzel und Dipl.-Volksw. Dipl.-Ing. Hans Ernst, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft an der Rhein.-Westf. Technischen Hochschule Aachen

Untersuchung der energiewirtschaftlichen Verhältnisse in einem Textilbetrieb und Vorschläge zur Verbesserung der Energieanwendung

1965. 59 Seiten, 31 Abb., 18 Tabellen. DM 43,—

HEFT 1584

Prof. Dr.-Ing. Paul Denzel und Dipl.-Ing. Richard Laufen, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der Rhein.-Westf. Technischen Hochschule Aachen

Vermeidung von Spannungsschwankungen durch im Takt arbeitende Schweißmaschinen

1965. 55 Seiten, 25 Abb. DM 34,80

HEFT 1706

Dr.-Ing. Hermann Wenzel und Dr.-Ing. Helmut Schaefer, Forschungsstelle für Energiewirtschaft an der Technischen Hochschule Karlsruhe

Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. H. F. Mueller

Bestimmung des Energiekostenanteils am Listenpreis ausgewählter Walzstahlfertigerzeugnisse als Maß für den Einfluß der Energiepreise auf die Wettbewerbsfähigkeit der Eisen schaffenden Industrie

HEFT 1722

Dr.-Ing. Helmut Schaefer und Dr.-Ing. M. Wegner, Forschungsstelle für Energiewirtschaft an der Technischen Hochschule Karlsruhe

Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. H. F. Mueller

Energetische Betriebseigenschaften und wirtschaftliche Auslegung von elektrischen Verteilungsanlagen *In Vorbereitung*

HEFT 1739

Dr. J. Eickhoff, Elektrowärmeinstitut e. V., Essen

Untersuchungen auf dem Gebiet der Zentimeterwellen: Die Darstellung der Reflexionsverhältnisse in einer Mehrschichtenanordnung mit einem Leitungsmodell im Hinblick auf die dielektrische Erwärmung im Strahlungsfeld ebener Zentimeterwellen *In Vorbereitung*

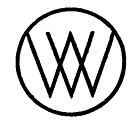
HEFT 1756

Dipl.-Ing. Kurt von Kwiatkowski, Gaswärme-Institut e. V., Essen-Steele

Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Fritz Schuster

Zündgeschwindigkeit technischer Brenngase über den ganzen Zündbereich *In Vorbereitung*

Verzeichnisse der Forschungsberichte aus folgenden Gebieten können beim Verlag angefordert werden:
Acetylen/Schweißtechnik – Arbeitswissenschaft – Bau/Steine/Erden – Bergbau – Biologie – Chemie – Druck/Farbe/Papier/Photographie – Eisenverarbeitende Industrie – Elektrotechnik/Optik – Energiewirtschaft - Fahrzeugbau/Gasmotoren – Fertigung – Funktechnik/Astronomie – Gaswirtschaft – Holzbearbeitung - Hüttenwesen/Werkstoffkunde – Kunststoffe – Luftfahrt/Flugwissenschaften – Luftreinhaltung – Maschinenbau – Mathematik – Medizin/Pharmakologie – NE-Metalle – Physik – Rationalisierung – Schall/Ultraschall - Schifffahrt – Textilforschung – Turbinen – Verkehr – Wirtschaftswissenschaften.



WESTDEUTSCHER VERLAG · KÖLN UND OPLADEN
567 Opladen/Rhld., Ophovener Straße 1-3